



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – ESTRUCTURAS

PÉRDIDA POR INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS ESTABLECIDOS EN EDIFICACIONES A
CAUSA DE LOS SISMOS DEL 7 Y 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017 EN MÉXICO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN INGENIERÍA

PRESENTA:
DAVID ORTIZ SOTO

TUTOR:
EDUARDO REINOSO ANGULO – INSTITUTO DE INGENIERÍA

COMITÉ TUTORAL:
DRA. SONIA ELDA RUIZ GÓMEZ – INSTITUTO DE INGENIERÍA
DR. FRANCISCO LEONEL SILVA GONZÁLEZ – FACULTAD DE INGENIERÍA
DR. JAIME GARCÍA PÉREZ – INSTITUTO DE INGENIERÍA
DR. MAURO POMPEYO NIÑO LÁZARO – FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o los autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido o sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Sonia Elda Ruiz Gómez

Secretario: Dr. Francisco Leonel Silva González

1 er. Vocal: Dr. Eduardo Reinoso Angulo

2 do. Vocal: Dr. Jaime García Pérez

3 er. Vocal: Dr. Mauro Pompeyo Niño Lázaro

Lugar donde se realizó la tesis: INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

TUTOR DE TESIS:

EDUARDO REINOSO ANGULO

FIRMA

UNAM Posgrado de Ingeniería
Ciudad Universitaria, Ciudad de México (México)

Derechos.

All rights reserved. No part of the publication may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publisher.

ISBN

Agradecimientos

Un agradecimiento muy especial a *Dios* por siempre bendecirme y darme todo lo necesario para alcanzar mis objetivos, así como a mi *esposa María Olivia Calderón*, mis *padres Clara y Antonio*, y mis *hermanos Carlos y Antonio* por la paciencia y todo el apoyo que me han brindado durante todos estos años.

A mi tutor de tesis, *Dr. Eduardo Reinoso Angulo*, por su tiempo, asesoramiento y consejos durante el desarrollo de esta tesis. Es un profesional que admiro por su gran calidad humana y el vasto conocimiento que posee.

A mi colega Jorge Alberto Villalobos por haber colaborado de forma importante en este trabajo y por nuestra amistad.

A los alumnos de Ingeniería Civil del TecNM, campus Istmo, así como a los colegas, Arquitectos y todas las personas del Istmo que de alguna forma colaboraron en las investigaciones de campo.

A los integrantes del *Comité Tutorial*, *Dra. Sonia Elda Ruiz*, *Dr. Jaime García*, *Dr. Francisco Leonel Silva* y *Dr. Mauro Pompeyo Niño* por sus comentarios y sugerencias para mejorar la calidad de este trabajo.

Al *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)* por el apoyo económico que me brindó durante toda mi estancia doctoral.

A mi alma máter, la *Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)*, especialmente al *Instituto de Ingeniería (II)*. Es un orgullo pertenecer a esta institución.

A mi tío, *Dr. Celso Ortiz*, por haberme apoyado y aconsejado cuando lo requerí durante mi estancia doctoral.

A mis *compañeros del doctorado de la UNAM* por las vivencias compartidas y la amistad que tenemos desde hace varios años.

... ¡MUCHAS GRACIAS!

Dedicatorias

Dedico de manera especial este trabajo a mi esposa María Olivia Calderón, quien es el amor para mi vida y mi compañera de vida. Ella ha sido trascendental y una motivación para lograr todos mis objetivos. Nuestro amor crece súbitamente cada día en todos los aspectos, siempre con la bendición de Dios.

A mis padres Clara y Antonio por su apoyo incondicional durante toda mi vida, ya que sin él no hubiera sido posible alcanzar mis logros. Les agradezco por inculcarme siempre buenos valores y el hábito por el estudio. Asimismo, dedico este trabajo a los integrantes de las nuevas familias que han formado, con quienes he compartido muchos momentos agradables forjándose una gran amistad.

Para mis hermanos Carlos y Antonio por su incondicional apoyo y por todas las vivencias que hemos tenido juntos. Dios siempre nos guiará y mantendrá unidos siempre.

He sido bendecido por el apoyo y afecto que me ha brindado cada uno de los miembros de mi familia a lo largo de mi vida, incluyendo a aquellos que se han adelantado (abuelos Rafael y Antonio, y tía Lucía). Comparto con ellos este importante logro en mi vida, especialmente con mis abuelitas Paulina y Juana, y la familia que ha formado mi hermano mayor.

Dedico también este trabajo a la familia de mi esposa, ya que también se ha vuelto una familia para mí y forman parte importante de mi vida, especialmente a mis suegros Cristina, Olivia y Julio.

Finalmente, a todos mis amigos y a todas las personas que de alguna forma me han apoyado, tanto de México como del extranjero.

Resumen

Los sismos ocurridos el 7 y 19 de septiembre de 2017 en México propiciaron grandes afectaciones a muchos negocios. Debido a que el sistema estructural, los elementos no estructurales y contenidos de los edificios se dañaron, las unidades económicas dejaron de operar por un determinado tiempo, por lo tanto, registraron pérdidas económicas considerables. No obstante, la paralización de las actividades empresariales también se derivó de efectos indirectos en los inmuebles, tales como la suspensión de servicios públicos de suministro, los efectos de vecindario, las afectaciones al personal y la interrupción de negocios contingente.

Con base en distintas técnicas de recolección de datos, tales como la aplicación de encuestas y la observación directa, en esta investigación se identifican las razones de cierre de los negocios a causa de estos sismos, además de que se determina el tiempo de interrupción de las operaciones y se estiman las pérdidas económicas suscitadas durante dicho período. Asimismo, se registran las estrategias que se implementaron para mantener o aumentar el nivel de ganancias habitual, se indican los incentivos recibidos para la reactivación empresarial y se estudia la recuperación de la productividad tras la reapertura. A partir de esto, se plantean ecuaciones sencillas para determinar de forma aproximada el tiempo de interrupción de un negocio tras un sismo y se aplican a locales comerciales hipotéticos.

El presente estudio permitirá mostrar que en la actualidad sigue habiendo construcciones altamente vulnerables sísmicamente, las cuales al dañarse no sólo pueden propiciar elevadas pérdidas económicas directas, sino que también grandes pérdidas por interrupción. Se pretende entonces ayudar a alertar a los negocios acerca de este peligro, así como generar conocimientos que sean útiles para formular estrategias que minimicen las pérdidas por sismo. Una de las conclusiones de esta tesis es que, aunque el tiempo de interrupción de las unidades económicas depende de múltiples factores, la participación de los Ingenieros Estructuristas es trascendental para poder minimizarlo, especialmente en la evaluación de la seguridad de los edificios y en el diseño de la rehabilitación de las distintas infraestructuras.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2	OBJETIVO GENERAL	2
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.5	ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	3
2	GENERALIDADES SOBRE EL RIESGO DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO	5
2.1	INTRODUCCIÓN	5
2.2	CLASIFICACIÓN DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO	6
2.2.1	Interrupción temporal	6
2.2.2	Interrupción definitiva	8
2.3	PÉRDIDA ECONÓMICA POR INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO	10
2.4	AMENAZAS DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO	11
2.4.1	Interrupción de negocios por sismos	11
2.4.2	Interrupción de negocios por inundaciones	14
2.4.3	Interrupción de negocios por disturbios en manifestaciones	15
2.5	COMENTARIOS DEL CAPÍTULO 2	17
	 ANEXO C2: Impacto socioeconómico derivado del cierre vehicular por los daños en el puente Corpac de Tingo María, Huánuco en febrero del 2020	 19
3	INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE MÉXICO PRODUCIDA POR EL SISMO DEL 19S DE 2017	39
3.1	INTRODUCCIÓN	39
3.1.1	Breve descripción del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017	39
3.1.2	Estado del arte	39
3.2	MOTIVOS Y TIEMPOS DE CIERRE DE LOS NEGOCIOS DE LA CDMX.....	42
3.2.1	Protocolos de seguridad iniciales	43
3.2.2	Suspensión de servicios públicos de suministro	44
3.2.3	Efectos de vecindario	46
3.2.4	Daños físicos en los componentes del edificio	49
3.3	MODELO DE TIEMPO DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO POR SISMO.....	51
3.4	COMENTARIOS DEL CAPÍTULO 3	53
	 ANEXO C3: Tiempo de interrupción de interrupción de negocios en la Ciudad de México por daños directos y efectos indirectos en edificios a causa del sismo del 19S de 2017	 55
4	INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN EDIFICACIONES DE OAXACA A CAUSA DEL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017	89
4.1	INTRODUCCIÓN	89
4.1.1	Breve descripción del sismo ocurrido el 7 de septiembre de 2017	89
4.1.2	Estado del arte	89
4.2	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	92

4.3	REPORTE ESTADÍSTICO DE NEGOCIOS EN OAXACA AFECTADOS POR EL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017	92
4.3.1	Tiempo y razones de cierre de las unidades económicas	92
4.3.2	Tiempo de recuperación de las unidades económicas	96
4.4	ECUACIONES DE TIEMPO DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO POR SISMO	97
4.4.1	Tiempo de interrupción para negocios sin reubicación	97
4.4.2	Tiempo de interrupción para negocios con reubicación	98
4.5	COMENTARIOS DEL CAPÍTULO 4	99
ANEXO C4: Assessment of business interruption time due to direct and indirect effects of the Chiapas earthquake on September 7 th 2017		101
5	CASO DE ESTUDIO: PÉRDIDAS EN LOS NEGOCIOS DEL MERCADO MUNICIPAL DE JUCHITÁN DE ZARAGOZA DEBIDAS A LOS DAÑOS EN EL INMUEBLE CAUSADOS POR EL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017	125
5.1	INTRODUCCIÓN	125
5.1.1	Breve descripción del problema	125
5.1.2	Impacto en los negocios por algunos sismos históricos	126
5.2	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	127
5.2.1	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	127
5.2.2	Población y tamaño de la muestra	127
5.3	PATOLOGÍA DEL MERCADO DE JUCHITÁN DE ZARAGOZA	128
5.3.1	Estructuración del inmueble	128
5.3.2	Tiempo inactivo de ocupación del edificio	129
5.3.3	Daños en el inmueble	130
5.3.4	Rehabilitación del edificio	132
5.4	REPORTE ESTADÍSTICO DE LAS AFECTACIONES A LOS NEGOCIOS DEL MERCADO DE JUCHITÁN POR EL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017	136
5.4.1	Pérdidas directas en los negocios	136
5.4.2	Pérdidas por interrupción de las actividades	136
5.4.3	Recuperación de las unidades económicas	138
5.5	COMENTARIOS DEL CAPÍTULO 5	141
ANEXO C5: The impact of the September 7th 2017 earthquake on the businesses of 2 the municipal market of Juchitán de Zaragoza due to property damage		143
6	CONCLUSIONES	165
	REFERENCIAS	169

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con el Barómetro de Riesgos de Allianz 2020, tras efectuar un estudio que contó con la participación de alrededor de 2,700 expertos procedentes de más de cien países, los incidentes cibernéticos aparecieron como el riesgo más importante para las empresas (39%), relegando por primera vez en la historia a la segunda posición a la pérdida por interrupción de negocios (37%), que había sido siempre el primer riesgo en las ediciones anteriores (Allianz, 2020).

“Muchos negocios comprenden el concepto de manejo de emergencias y planificación para la continuidad de sus operaciones. Sin embargo, podría tratarse de cuestiones complejas según su actividad, tamaño y alcance particular, así como su nivel de riesgo ante peligros naturales y provocados por el ser humano. Todas las unidades económicas deben tomar en cuenta todos los peligros a los que se encuentran expuestas para mantenerse razonablemente en funcionamiento” (FEMA, 2015).

Históricamente, los sismos han generado grandes pérdidas económicas tanto por los daños directos como por el cierre de los negocios. Por ello, la reanudación de las operaciones empresariales lo más pronto posible ha sido fundamental no sólo para minimizar pérdidas e inclusive evitar el fracaso de las unidades económicas, sino que también para lograr la recuperación social y económica de las zonas afectadas, debido a que actualmente las empresas de todo tipo y tamaño son esenciales para el funcionamiento de cada comunidad y la fuerza económica de un país, ya que generan empleos, pagan impuestos o proveen bienes y servicios (Alesch et al., 2009).

Uno de los primeros efectos negativos que sufre un negocio que se ve forzado a un cierre es que deja de tener ganancias, por lo que ve reflejada una pérdida en el reporte financiero. Esto se debe a la ausencia o minoración de ingresos por la falta de ventas, así como por los costos que sigue teniendo, tales como la depreciación de maquinaria y equipo o incluso los pagos de nómina a los trabajadores, de renta del inmueble, del servicio de energía eléctrica e intereses bancarios.

La reapertura de un negocio se puede efectuar una vez que el edificio recupera su funcionalidad o tras una reubicación en otro inmueble. En un periodo posterior a esta, los ingresos obtenidos pueden ser inferiores a los egresos debido a la disminución de las ventas o a causa de un aumento en los gastos operativos (administrativos, financieros, de representación, entre otros). Aunque los ingresos superen a los egresos, las utilidades pueden ser menores a las que se tenían antes de la ocurrencia del evento catastrófico de acuerdo con los estados de resultados.

Dentro de los trastornos que impactan en la recuperación del negocio, en especial tras una prolongada interrupción, se tienen (Fernández, 2016):

- Disminución en las ventas que conllevan a pérdida en la posición de mercado.
- Pérdida de posicionamiento en el mercado asociada a la pérdida de confianza de los clientes.
- Pérdida de confianza de los inversionistas.
- Pérdida de la imagen

La mayoría de los modelos que se han propuesto para estimar la pérdida económica probable por daños para diversas amenazas, principalmente para sismo, se han enfocado en el costo de reparación de la estructura (Scholl, 1979; ATC-13, 1985; Ordaz, et al., 2000; Haselton, et al., 2007 y 2011; Ramírez et al., 2012) y no en la disminución de las utilidades por la paralización de las operaciones empresariales. Existen softwares que estiman la pérdida a partir del cálculo formal del riesgo sísmico de edificios e infraestructura como CAPRA de ERN y HAZUS de FEMA, sin embargo, ambos consideran la interrupción de negocios de manera muy aproximada.

El estudio de pérdidas por interrupción de negocio es relativamente reciente. Estas pérdidas muchas veces son mayores con respecto a las pérdidas por el daño a la propiedad (Tierney, 1997), además de que son más difíciles de estimar puesto que dependen de muchos factores (NRC, 1999), por lo que la mayoría de los seguros sólo las cubren sin hacer cálculos formales.

Los sismos de septiembre de 2017 en México desencadenaron una paralización temporal o definitiva de muchos negocios de la Ciudad de México y de otros estados de la República debido a daños directos en los edificios. Asimismo, se registró que diversas unidades económicas tuvieron que suspender sus actividades aun cuando sus inmuebles resultaron sin afectaciones en el sistema estructural, los elementos no estructurales y los contenidos, sino que esto se debió a efectos indirectos en los edificios, tales como la suspensión de servicios públicos de suministro, los efectos de vecindario, las afectaciones al personal y la interrupción de negocios contingente. Por consiguiente, los negocios experimentaron grandes pérdidas económicas, no sólo durante el tiempo que se vieron forzados a cerrar, sino que también durante un período de recuperación.

1.2 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de la presente tesis es el siguiente:

Evaluar las pérdidas económicas y en unidades de tiempo que experimentaron los negocios establecidos en edificaciones, a causa de la interrupción de sus operaciones tras los sismos ocurridos el 7 y 19 de septiembre de 2017 en México.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos de esta investigación se enuncian a continuación:

- Identificar las razones de cierre de los negocios a causa de los sismos del 7 y 19 de septiembre de 2017 en México.
- Examinar la recuperación de la productividad tras la reapertura de los negocios.

- Mostrar las estrategias que implementaron los negocios para mantener o aumentar el nivel de ganancias habitual que tenían hasta antes de la ocurrencia de los terremotos.
- Deducir ecuaciones sencillas para determinar de forma aproximada el tiempo de interrupción de un negocio tras un sismo.

1.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de esta investigación, se emplearon las siguientes técnicas de recolección de datos:

- Observación directa o participante
- Entrevistas estructuradas
- Entrevistas no estructuradas
- Encuesta
- Observación indirecta o no participante
- Análisis documental

Asimismo, se utilizaron los instrumentos de recolección de datos que se enlistan enseguida:

- Cuaderno de notas
- Dispositivo para tomar fotografías y grabar Entrevistas no estructuradas
- Cuestionario
- Ficha de registro de datos

1.5 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

La tesis presentada se compone de seis capítulos, de los cuales el primero corresponde a la introducción y el último a las conclusiones.

En el capítulo 2, denominado “Generalidades sobre el riesgo de interrupción de negocio”, se hace una clasificación de la interrupción de negocio, se describe brevemente cómo se estima la pérdida económica por este cese y posteriormente se abordan las amenazas para este riesgo, poniéndose énfasis en sismos, inundaciones y disturbios en manifestaciones. Asimismo, se muestran varios casos reales de unidades económicas que cerraron temporal o definitivamente por los eventos citados. Este capítulo se complementa con un artículo científico publicado en la “Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras”, el cual se presenta en el Anexo C2 (Ortiz et al., [2021a](#)).

Con respecto al capítulo 3, llamado “Interrupción de negocios en edificaciones de la Ciudad de México producida por el sismo del 19S de 2017”, se identifican las razones y los períodos de paralización de las operaciones de algunas unidades económicas de la capital de México a causa del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017 en la frontera entre Puebla y Morelos. Además, de acuerdo con lo observado tras este evento destructivo, se propone un modelo para determinar el tiempo de interrupción de negocio por sismo considerando distintas fuentes de cese. En el Anexo C3 (Ortiz y Reinoso, [2020](#)) se presenta un artículo

científico publicado en la “Revista de Ingeniería Sísmica”, en el cual se puede consultar un mayor detalle sobre el modelo, así como un ejemplo de aplicación a un negocio formal hipotético establecido en una edificación de dos niveles de mampostería confinada.

En lo que se refiere al capítulo 4: “Interrupción de negocios en edificaciones de Oaxaca a causa del sismo del 7 de septiembre de 2017”, se presenta un reporte estadístico con base en una encuesta a 227 microempresas establecidas predominantemente en edificaciones de Unión Hidalgo, Matías Romero y Juchitán de Zaragoza, en el cual se pone énfasis en el tiempo y las razones de cierre de los negocios, así como en su productividad tras la reapertura y su estado actual a poco más de dos años de haber ocurrido el evento destructivo. Al final de este capítulo se presenta el anexo C4, el cual consiste en un artículo científico publicado en la revista “Natural Hazards” (Ortiz et al., 2021b), donde se puede consultar un mapa de riesgo de interrupción de los negocios por el sismo de Chiapas, además de un mayor detalle de las ecuaciones para determinar el tiempo de esta paralización con su respectiva aplicación a una unidad económica hipotética.

El capítulo 5, denominado “Caso de estudio: Pérdidas en los negocios del mercado municipal de Juchitán de Zaragoza debidas a los daños en el inmueble causados por el sismo del 7 de septiembre de 2017”, trata sobre los daños estructurales y no estructurales identificados en este inmueble durante el sismo de Chiapas ocurrido en septiembre de 2017, así como su reconstrucción. Asimismo, se presenta un informe estadístico basado en 165 negocios encuestados para estimar las pérdidas económicas directas y por interrupción de sus actividades que experimentaron tras la inoperatividad del edificio. En el anexo C5 se presenta un artículo sometido, para su posible publicación, en marzo de 2022 a la revista “Natural Hazards” (Ortiz et al., 2022), el cual se derivó del presente capítulo.

1.6 PRINCIPALES APORTACIONES CIENTÍFICAS DE LA INVESTIGACIÓN

Una de las principales contribuciones científicas de la presente tesis consiste en identificar las fuentes de interrupción de los negocios de la CDMX tras el sismo del 19S de 2017 en la frontera Morelos – Puebla. Considerando los protocolos de seguridad iniciales, la suspensión de servicios públicos de suministro, los efectos de vecindario y los daños en los componentes del edificio, se propone un modelo para estimar el tiempo de interrupción de negocio por sismo con datos de entrada basados en lo observado después del evento catastrófico.

Además, otra de las aportaciones estriba en una recolección de datos sobre las afectaciones a 227 microempresas ubicadas en tres de las zonas más dañadas de Oaxaca por el sismo del 7 de septiembre de 2017. Se determina el tiempo y las razones de cierre de las unidades económicas, así como el tiempo de recuperación de estas. Se proponen expresiones analíticas para estimar el tiempo de interrupción de negocio por sismo con datos de entrada basados en las encuestas aplicadas. Asimismo, se elaboran mapas de riesgo de interrupción de negocio.

Por otra parte, en este estudio se estiman las pérdidas económicas en los negocios establecidos en el mercado municipal de Juchitán de Zaragoza por los daños en el inmueble causados por el sismo de Chiapas de 2017. También se registra el tiempo de inactividad del edificio de acuerdo con todas las actividades llevadas a cabo para la rehabilitación.

GENERALIDADES SOBRE EL RIESGO DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO

Actualmente, la pérdida de la operatividad de los negocios es uno de los riesgos más altos que debe afrontar el sector empresarial en el mundo. Históricamente se ha observado que muchas unidades económicas han experimentado pérdidas económicas no sólo por daños directos, sino que también por la interrupción de sus actividades. En este capítulo se hace una clasificación de la interrupción de negocio, se explica brevemente cómo se estima la pérdida económica por este cese y posteriormente se abordan las amenazas para este riesgo, poniéndose énfasis en sismos, inundaciones y disturbios en manifestaciones. Un caso de estudio sobre el impacto socioeconómico desencadenado por el cierre vehicular de un puente que se dañó en Tingo María, Perú se puede encontrar en el Anexo C1 (Ortiz et al., 2021).

2.1 INTRODUCCIÓN

Con base en el Barómetro de Riesgos de Allianz 2019, tras haberse aplicado 2,415 encuestas, se registró que la interrupción de los negocios o pérdida de beneficios (37%) y los incidentes cibernéticos (37%) fueron los principales riesgos globales a los que las empresas consideraron que se enfrentarían. La población considerada en la recolección de datos fue clientes de la aseguradora, corredores, organizaciones comerciales de la industria, consultores de riesgo, suscriptores, gerentes y expertos en reclamos (Saldívar, 2019; AGERS, 2019). Sin embargo, de acuerdo con la edición de 2020 de este barómetro, en la cual se efectuó un estudio que contó con la participación de alrededor de 2,700 expertos procedentes de más de cien países, por primera vez en la historia, los incidentes cibernéticos aparecieron como el riesgo más importante para las empresas (39%), relegando a la segunda posición a la pérdida de beneficios (37%), que había sido siempre el primer riesgo en las ediciones anteriores (Allianz, 2020).

Históricamente, una gran cantidad de eventos de distinta índole ha propiciado daños directos generándose entonces una interrupción de las actividades empresariales. Sin embargo, esta paralización también se ha producido por efectos indirectos en los edificios. Como consecuencia, los negocios han experimentado pérdidas económicas por las afectaciones en los activos tangibles o por la pérdida de la operatividad parcial o absoluta.

Actualmente las empresas de todo tipo y tamaño son esenciales para el funcionamiento de cada comunidad y la fuerza económica de un país, ya que generan empleos, pagan impuestos o proveen bienes y servicios. Por lo tanto, cuando no pueden reanudar sus actividades tras un evento catastrófico, se limitan los medios de subsistencia individuales y comunitarios, lo que conlleva a una demora considerable en la recuperación social y económica de las zonas afectadas (Chang y Lotze, 2014; FEMA, 2015; Ortiz et al., 2020).

La gestión económica desempeña un papel importante en todas las fases de un desastre, por lo que tiene funciones bien definidas antes, durante y después de los fenómenos (Navarro, 2007). Sin embargo, en un mundo globalizado, las repercusiones de los eventos son, con carácter general, cada vez más internacionales (Domínguez y Domínguez, 2014). Se ha observado que la creciente interdependencia de las economías y sociedades en el mundo implica que los riesgos emergentes en los países en desarrollo se extiendan rápidamente, ya que el control y los sistemas de alerta temprana son a menudo inadecuados o inexistentes (OCDE, 2003). “Está aumentando rápidamente el reconocimiento mundial de los efectos que el cambio climático y los desastres tendrán en el crecimiento económico, el bienestar de la comunidad y los sistemas financieros y económicos. Para que las empresas grandes y pequeñas puedan sobrevivir e incluso prosperar en este entorno, necesitan adaptarse rápidamente” (ARISE, 2019).

“Muchas empresas comprenden el concepto de manejo de emergencias y planificación para la continuidad de sus operaciones. Sin embargo, podría tratarse de cuestiones complejas según su actividad, tamaño y alcance particular, así como su nivel de riesgo ante peligros naturales y provocados por el ser humano. Todas las unidades económicas deben tomar en cuenta las amenazas a las que se encuentran expuestas para mantenerse razonablemente en funcionamiento. Es crucial que incorporen a sus decisiones comerciales y de planificación, soluciones prácticas de mitigación de riesgos por distintas amenazas. De este modo, los negocios protegen los recursos de la organización (personas, bienes materiales, operaciones), mantienen la capacidad de suministrar bienes o servicios a los clientes o a su cadena de suministro, mantienen el flujo de fondos en efectivo, conservan su reputación y ventaja competitiva, y preservan la capacidad de cumplir con sus obligaciones legales, reglamentarias, financieras y contractuales” (FEMA, 2015).

2.2 CLASIFICACIÓN DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO

2.2.1 Interrupción temporal

La interrupción temporal absoluta corresponde al tiempo en el que la unidad económica cierra debido a la pérdida de la operatividad del edificio por daños directos o efectos indirectos, mientras que la parcial ocurre durante el período en el cual las operaciones no se desarrollan en condiciones normales, por ejemplo, por la recuperación de la productividad o la cuota de mercado tras la reapertura.

En la Figura 2.1 se muestran algunos negocios de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, que cerraron temporalmente debido a los daños en los respectivos inmuebles causados por el sismo de Chiapas del 7 de septiembre de 2017. Una sucursal de Coppel pudo ofrecer nuevamente sus productos alrededor de tres meses después, una vez que se efectuaron las reparaciones, principalmente de elementos no estructurales (Figura 2.1a). Por otra parte, un consultorio médico no brindó sus servicios cerca de un año y cuatro meses, debido a la rehabilitación estructural del primer nivel, así como por la demolición y reconstrucción del segundo nivel del edificio (Figura 2.1b). En tanto, una pizzería perdió su funcionamiento aproximadamente dos meses a causa de un colapso parcial de la edificación, por lo que fue necesario demoler la zona dañada, efectuar una remoción de escombros y adaptar una terraza (Figura 2.1c).



Figura 2.1 Unidades económicas de Juchitán de Zaragoza que experimentaron interrupción temporal absoluta tras el sismo del 7 de septiembre de 2017: a) sucursal de Coppel; b) consultorio médico; c) pizzería

Uno de los primeros efectos negativos que sufren los negocios que se ven forzados a paralizar sus actividades empresariales por un cierto período es que dejan de tener ganancias, por lo que se refleja una pérdida en el reporte financiero. Esto se debe a la ausencia o minoración de ingresos por la falta de ventas, así como por los costos que siguen teniendo, tales como la depreciación de maquinaria y equipo, los pagos de nómina a los trabajadores, de renta del inmueble o del servicio de energía eléctrica e intereses bancarios.

Como ya se citó previamente, la reanudación de las operaciones de un negocio puede efectuarse una vez que el edificio recupera su funcionalidad, no obstante, esto también puede ocurrir tras una reubicación en otro inmueble, además de que debe disponerse de liquidez. En algunos casos, en un periodo posterior a esta reactivación, los ingresos obtenidos son inferiores a los egresos debido a la disminución de las ventas o al aumento en los gastos operativos (administrativos, financieros, de representación, entre otros). Incluso, hay ocasiones en las que, aunque los ingresos superan a los egresos, las utilidades son menores a las registradas antes de la ocurrencia del evento catastrófico de acuerdo con los estados de resultados. Dentro de los trastornos que impactan en la recuperación de una empresa, en especial tras una prolongada interrupción, se tienen las siguientes (Fernández, 2016):

- Disminución en las ventas que conllevan a pérdida en la posición de mercado.
- Pérdida de posicionamiento en el mercado asociada a la pérdida de confianza de los clientes.
- Pérdida de confianza de los inversionistas.
- Pérdida de la imagen

En la Figura 2.2 se muestra un local ubicado en el Istmo cuya actividad comercial consiste en la venta y reparación de bicicletas, el cual experimentó una interrupción temporal tanto absoluta como parcial. De acuerdo con el dueño, puesto que la propiedad presentó un colapso parcial durante el sismo de Chiapas, quedando la fachada frontal en ruinas, el negocio permaneció inoperativo por siete meses hasta la reconstrucción estructural a base de muros de concreto reforzado, además, tuvo una disminución en las ventas del 75 % en los primeros meses posteriores a la reapertura.



Figura 2.2 Local comercial del Istmo que presentó interrupción temporal absoluta y parcial como consecuencia del sismo de Chiapas de 2017

2.2.2 Interrupción definitiva

Una razón muy evidente por la que un negocio deja de operar para siempre consiste en el colapso total de la edificación tras un siniestro, lo cual implica una pérdida total (Figura 2.3). Pero también un cierre permanente se puede producir antes de poder reanudar las actividades empresariales debido a:

- Acumulación de pérdidas por la interrupción de las operaciones.
- Demolición del edificio por daños severos o colapso parcial (Figura 2.4).
- Pérdidas elevadas por los daños en los contenidos del edificio (mobiliario, equipo, maquinaria, stock, entre otros).
- Muertos o heridos en el personal.

Inclusive, aunque los trabajos se puedan reiniciar, algunas unidades económicas nunca pueden recuperarse y fracasan tiempo después.



Figura 2.3 Ejemplos de negocios que sufrieron interrupción definitiva a causa de un colapso total del edificio durante el sismo de Chiapas de 2017: a) comedor; b) pollería

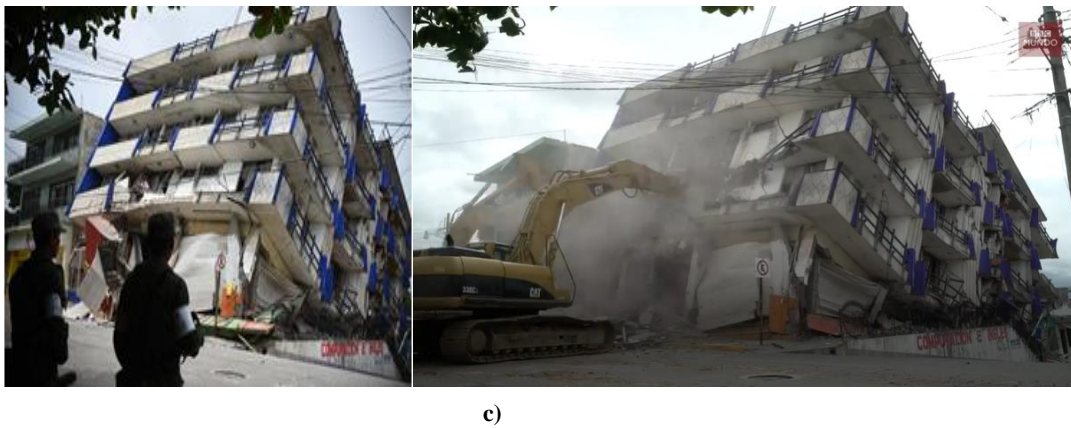


Figura 2.4 Algunos inmuebles que tuvieron que ser demolidos después del sismo del 7 de septiembre de 2017: a) veterinaria y laboratorio de análisis clínicos; b) consultorio médico. Fuente: El País / Créditos: Carlos Jasso (Reuters); c) hotel en Matías Romero. Fuentes: El País / Créditos: Carlos Jasso (Reuters) y BBC News Mundo

2.3 PÉRDIDA ECONÓMICA POR INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO

Debido a que comúnmente no se tiene acceso a información explícita sobre ingresos y egresos de los negocios, para fines de esta investigación se emplea la definición estándar de pérdida contable (Ecuación 2.1) y se asume que esta es estimada por el respectivo personal con base en un estado de resultados del negocio.

$$P = I - E \leftrightarrow E > I \quad (2.1)$$

donde I son los ingresos obtenidos por el negocio y E son los egresos (costos y gastos incurridos), ambos en el tiempo de interrupción del negocio.

Por otra parte, existen seguros que cubren la pérdida por Interrupción de Negocio, P_{IN} . En general, esta puede ser estimada como (Torpey, 2018):

$$P_{IN} = T \cdot C \cdot V \quad (2.2)$$

donde T es el número de unidades de tiempo en el que las operaciones se interrumpen, C es la cantidad de bienes normalmente producidos o vendidos por unidad de tiempo y V es el valor de cada unidad de producción, generalmente expresado en ganancias.

De acuerdo con Newall (2018), los seguros de interrupción de negocio normalmente se rigen bajo los modelos de Estados Unidos o del Reino Unido. Ambos efectúan una cobertura por la pérdida de ventas multiplicada por la tasa de ganancia bruta, además del aumento en los costos para la reactivación, sin embargo, existen diferencias importantes entre ellos. Por ejemplo, el primero sólo cubre la pérdida económica por interrupción hasta la rehabilitación de la propiedad, mientras que el segundo cubre, además, el tiempo que le toma a una empresa volver a colocarse en la posición financiera en la que estaría si el siniestro no hubiera ocurrido, limitado por un período de indemnización máximo seleccionado por el cliente. Además, la póliza del Reino Unido declara que pagará las pérdidas "como consecuencia" del daño a la propiedad asegurada, mientras que la de los Estados Unidos indica que pagará la pérdida del negocio "causada directamente por el" daño a la propiedad asegurada. De ese modo, supóngase el siguiente ejemplo. Se tiene una fábrica que se dañó por un incendio, por consiguiente, se contratan constructores para reparar la propiedad. Sin embargo, durante la fase de rehabilitación hay una disputa y estos entran en huelga durante dos semanas. Como resultado, la reapertura del negocio se retrasa ese período. Una póliza regida bajo el modelo del país europeo cubriría la pérdida por interrupción del negocio causada por la huelga, ya que sería muy difícil argumentar que no fue causada como consecuencia del incendio en la fábrica, por el contrario, una póliza regida bajo el modelo del país norteamericano no cubriría esta pérdida porque no fue causada directamente por el incendio, sino que por un incidente separado.

2.4 AMENAZAS DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO

El riesgo de la pérdida de la operatividad de los negocios es muy alto debido a que existen múltiples eventos que pueden propiciarla al afectar instalaciones, personal, clientes o proveedores. En la Tabla 2.1 se muestran algunas amenazas.

Tabla 2.1 Peligros o amenazas para la pérdida de la operatividad de las unidades económicas

Tipo	Evento
Hidrológicos	Inundaciones
	Derrumbes
	Acción de oleaje
Meteorológicos	Tormentas
	Temperaturas extremas
	Niebla
Climáticos	Sequías
	Incendios forestales
	Desbordamiento repentino de los lagos glaciares
Geológicos	Sismos
	Actividad volcánica
	Deslaves
Accidentes	Socavones
	Incendio
	Explosión
Problemas medioambientales	Contaminación de aire
	Contaminación de mares
Acontecimientos sociales o políticos	Ataques terroristas
	Huelgas laborales
	Ciberataques
	Manifestaciones
Problemas de origen biológico	Epidemias
	Pandemias
Daños en obras de infraestructura vial	Afectaciones en puentes
	Afectaciones en carreteras

2.4.1 Interrupción de negocios por sismos

Después de un sismo destructivo, muchas unidades económicas se han visto forzadas a una paralización temporal o definitiva de sus actividades por una gran variedad de causas, las cuales se muestran en la Tabla 2.2. Se ha observado que esta interrupción ha ocurrido incluso sin que los edificios donde estaban establecidos los negocios hayan resultado dañados. Asimismo, existe registro de que algunas empresas experimentaron una disminución de ingresos sin haber cerrado a causa del terremoto, puesto que esto se debió a que dejaron de tener clientes tras el desastre a gran escala (Ortiz y Reinoso, 2020).

Tabla 2.2 Clasificación de las fuentes de interrupción de negocio por sismo

Efectos sísmicos en edificios	Tipo	Evento
Directos	Protocolos de seguridad iniciales	Ocurrencia del sismo en horario laboral
		Inspección post-sísmica del edificio
		Evaluación simplificada del edificio
	Daños físicos en los componentes del edificio	Daño en elementos estructurales
		Daño en elementos no estructurales
		Daño en los contenidos
Indirectos	Suspensión de servicios públicos	Corte de energía eléctrica
		Corte de agua potable
		Suspensión del suministro de gas
		Suspensión del servicio de alcantarillado
		Interrupción de servicios de telecomunicación
	Efectos de vecindario	Complicaciones en vías de acceso al inmueble
		Daños no estructurales alrededor del edificio
		Desastre generalizado en la zona de ubicación del negocio
	Afectaciones al dueño o a los empleados	Daños severos o colapso parcial de un edificio vecino
		Colapso total de un edificio vecino
		Problemas de salud mental
	Interrupción contingente del negocio	Interrupción en el nivel “upstream”
Interrupción en el nivel “downstream”		

En las Figuras 2.5 se muestran algunos establecimientos económicos de Juchitán de Zaragoza que fueron afectados por daños directos en sus edificios debido al sismo ocurrido el 7 de septiembre de 2017 en Chiapas. Una cafetería no pudo operar aproximadamente un año y medio hasta la culminación de la rehabilitación del edificio, que consistió en un reforzamiento de los muros de mampostería con malla electrosoldada y el adiconamiento de elementos de confinamiento (Figura 2.5a). Por otra parte, una ferretería pudo efectuar su reapertura casi dos años después del terremoto debido a que los muros de la fachada principal del edificio se dañaron gravemente, además de que el espectacular se derribó y una parte de la cubierta metálica colapsó. Para recuperar la funcionalidad del inmueble se requirió adicionar columnas de concreto reforzado (Figura 2.5b). En tanto, una sucursal bancaria que se encontraba en plena rehabilitación estructural a inicios de octubre de 2019 muestra en el proceso constructivo un encamisado de las columnas de concreto y una adición de marcos estructurales de acero para reforzar el sistema (2.5c).



Figura 2.5 Negocios que cerraron por daños directos en sus respectivos edificios: a) cafetería; b) ferretería; c) sucursal bancaria; d) escuelas de baile y Taekwondo; e) venta de aluminios y cristales; f) papelería

El edificio de tres niveles mostrado en la Figura 2.5d únicamente sufrió daños no estructurales, tales como rotura de ventanas, sin embargo, las escuelas de baile y Taekwondo que estaban ubicadas en el primer y segundo nivel de forma respectiva, aún permanecían cerradas en los primeros días de octubre de 2019, mientras que en la Figura 2.5e se muestra una edificación en la que sólo se dañaron los contenidos, por lo que el negocio dedicado a la venta de aluminio y cristales tuvo que interrumpir sus actividades alrededor de dos meses. Finalmente, en la Figura 2.5f se muestra un inmueble que tampoco presentó daños estructurales y no estructurales, no obstante, la papelería cerró 15 días principalmente por el desastre generalizado en Juchitán, aunque también se presentaron daños mínimos en el stock.

Cuando un edificio no sufre daños en sus componentes, las actividades en el negocio se pueden reiniciar, según sea el caso, una vez que:

- Se decreta el acceso al inmueble sin que se ponga en peligro la seguridad de los ocupantes.
- Se restauran los servicios públicos tras la rehabilitación de la infraestructura o con acciones provisionales del gobierno o del dueño del negocio.
- Se restablece parcial o absolutamente el vecindario.
- Se reactivan los negocios proveedores o se usan otras opciones para obtener los suministros.
- Se recupera la funcionalidad de los negocios de los clientes o se emplean otras fuentes para abastecer.
- Se recupera la salud del personal o este se reemplaza.

Sin embargo, si el edificio se daña, además es necesario llevar a cabo reparaciones, reforzamientos, reconstrucciones, reestructuraciones u otras intervenciones para restaurar su funcionalidad, y en ocasiones se requiere del reordenamiento, reparación o reemplazamiento de los contenidos.

2.4.2 Interrupción de negocios por inundaciones

De acuerdo con las estadísticas, los fenómenos naturales con mayores consecuencias materiales y en las personas tienen un origen hidrometeorológico, principalmente los que comienzan con lluvias torrenciales y finalizan con grandes inundaciones. Estos fenómenos se han agravado en intensidad por efecto del cambio climático. Además, se ha registrado que alrededor del 25 % de las pérdidas por inundaciones ocurren en zonas con riesgo bajo a moderado (LEA, 2019).

Según el FEMA, todos los tipos de inundaciones, incluyendo las que ocurren lejos de la costa, las imprevistas y las causadas por deshielo de la temporada ocurren en cada región de los Estados Unidos, además de que un 90% de todos los eventos catastróficos de origen natural en este país incluye algún tipo de inundación (Insurance Information Institute, 2020). Por otra parte, México es uno de los países más vulnerables al cambio climático. Hay evidencia de que 15% del territorio y 68% de la población están expuestos a los riesgos asociados a sus efectos como huracanes e inundaciones (Pini, 2020).

A menudo las inundaciones propician grandes afectaciones en los negocios, ya que dañan a los elementos estructurales y no estructurales de los edificios donde operan, así como a sus contenidos, sin embargo, no sólo aquellos establecimientos económicos que se inundan se ven forzados a detener sus operaciones parcial o absolutamente (Figuras 2.6 y 2.7), sino que también este cese ocurre debido a:

- Interrupción del servicio de energía eléctrica.
- Muertos o heridos en el personal.
- Daños a la propiedad del dueño o de los empleados.
- Problemas en la salud mental del personal o los clientes (ansiedad, depresión, ira, miedo, frustración, tristeza, entre otros).
- Falta de proveedores, cuya capacidad se ve rápidamente superada por excesiva demanda, o que incluso, son afectados por la catástrofe.
- Afectaciones a la propiedad de los clientes o desconfianza de éstos hacia los negocios afectados.
- Inundaciones y otros daños en las vías de acceso al inmueble del negocio.



Figura 2.6 Inundación de una taquería como consecuencia de la lluvia histórica ocurrida el 16 de septiembre de 2020 en la Ciudad de México. Fuente: El chilango / Créditos: Tlalpan Vecinos (Twitter)



Figura 2.7 Centro comercial Multiplaza Aragón de Ecatepec inundado debido a una intensa lluvia registrada el 24 de septiembre de 2019. Fuente: Economía hoy / Créditos: Irving Pineda (Twitter)

2.4.3 Interrupción de negocios por manifestaciones

Una manifestación es la exhibición pública de la opinión de un grupo activista mediante una congregación en las calles, comúnmente en un lugar o una fecha simbólicos. Este tipo de protesta se puede originar, por ejemplo, cuando se está en contra de las injusticias laborales, los feminicidios o la desaparición de estudiantes (Ortiz et al., 2021c).

A menudo en las manifestaciones se producen disturbios, en los cuales se presentan agresiones a automóviles, negocios, peatones, miembros de la policía, o incluso entre los manifestantes. El origen de la violencia normalmente es confuso, ya que puede ser por parte de la sociedad civil o de las fuerzas armadas.

Los negocios paralizan sus operaciones debido a daños directos propiciados por los manifestantes o infiltrados (Figuras 2.8 y 2.9), tales como:

- Rotura de cristales
- Pinta de las instalaciones
- Saqueo de productos
- Destrozos en el stock, mobiliario, equipo y maquinaria
- Incendio de las instalaciones

Incluso, como medida preventiva, los negocios cierran algunas horas o días antes de la llegada de los manifestantes a su zona de ubicación.



Figura 2.8 Daños en las instalaciones de negocios de la Ciudad de México durante la marcha conmemorativa al día de la mujer acontecida el 8 de marzo de 2020. Fuente: Milenio y usuarios de redes sociales

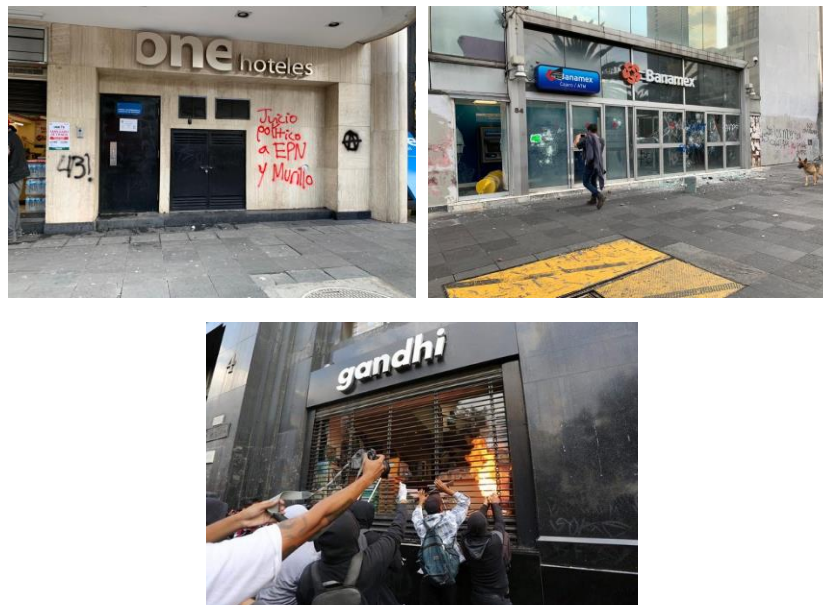


Figura 2.9 Negocios de la Ciudad de México afectados durante la marcha por los cinco años de la desaparición de los 43 estudiantes de Ayotzinapa, ocurrida el 26 de septiembre de 2019. Créditos: Ivonne de la Cruz y otros usuarios de Twitter

2.5 COMENTARIOS DEL CAPÍTULO 2

Como se mostró en este capítulo, la pérdida de la operatividad es uno de los riesgos más altos que deben afrontar los negocios. Con base en información recabada de distintos medios de comunicación, así como de investigación de campo, fue posible ejemplificar varios negocios que cerraron temporal o definitivamente por la ocurrencia de sismos, inundaciones y disturbios en manifestaciones.

De acuerdo con lo mencionado a este capítulo, cuando ocurre un evento catastrófico, las unidades económicas sufren grandes pérdidas económicas no sólo por los daños en los activos tangibles, sino que también por las ganancias que dejan de tener por la paralización de sus actividades, la cual se puede propiciar incluso sin que el edificio se dañe. Dentro de las acciones que recomendamos tomar a los dueños para proteger a sus negocios está la contratación de un seguro tanto de daños directos como de interrupción (lucro cesante).

**IMPACTO SOCIOECONÓMICO DERIVADO DEL CIERRE
VEHICULAR POR LOS DAÑOS EN EL PUENTE CORPAC DE
TINGO MARÍA, HUÁNUCO EN FEBRERO DE 2020**

En este anexo se presenta el artículo “Impacto socioeconómico derivado del cierre vehicular por los daños en el puente Corpac de Tingo María, Huánuco en febrero de 2020”, el cual se encuentra publicado en la revista denominada “Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras”.

Resumen

En esta investigación se efectúa una breve descripción de los daños y la rehabilitación del puente Corpac de Tingo María, Perú con base en información recabada de distintos medios de comunicación e investigación de campo in situ, registrándose que, debido al tránsito de vehículos que excedieron la carga máxima permisible y a la falta de mantenimiento de la obra de infraestructura vial, se produjeron varios daños, tales como un deslizamiento en el patín inferior de la viga del carril izquierdo en dirección a Castillo Grande y una fractura a lo largo de la soldadura entre algunas placas y vigas de acero. Para las reparaciones se efectuaron soldaduras empleando electrodo E 7018.

Posteriormente, en este trabajo se analizan los problemas sociales y económicos derivados del cierre vehicular del puente con base en información obtenida de entrevistas estructuradas y no estructuradas, documentándose que se produjo un gran descontento social por la inflación, así como grandes afectaciones en algunos negocios.

Para evitar problemas más graves en el futuro, por ejemplo, un colapso que propicie víctimas humanas o mayores pérdidas económicas se sugiere que las autoridades correspondientes tomen medidas estrictas para controlar el tránsito vehicular del puente Corpac. Además, se recomienda comisionar a Ingenieros especialistas en Estructuras para realizar inspecciones más continuas de esta construcción, llevar a cabo un correcto mantenimiento de la obra de infraestructura y construir vías alternas para el beneficio de la población.

SOCIOECONOMIC IMPACT DERIVED FROM THE VEHICULAR CLOSURE DUE TO DAMAGES ON THE CORPAC BRIDGE IN TINGO MARÍA, HUÁNUCO, ON FEBRUARY 2020

Ortiz David ⁽¹⁾, Reinoso Eduardo ⁽²⁾, Calderón María O. ⁽³⁾

⁽¹⁾ Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, Ciudad de México, México.

dortizs@iingen.unam.mx

⁽²⁾ Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, Ciudad de México, México.

ereinosoa@iingen.unam.mx

⁽³⁾ Universidad de Huánuco, filial Leoncio Prado, Huánuco, Perú. 2017112266@udh.edu.pe

Received: January 2021; Accepted: April 2021

Published: May 2021

ABSTRACT

In this research, we performed a brief description of the damages and repairs on the Corpac bridge in Tingo María, Peru, based on the information gathered from different media and field research in situ, registering that, due to the transit of vehicles that exceeded the maximum permitted load of weight, and due to a lack of maintenance in the infrastructure, there were several damage, such as a slip in the bottom skid of the left rail beam steering to Castillo Grande and a fracture along the weld between some steel plates and beams. For the repairs, welds were carried out using an E 7018 electrode.

Subsequently, we analyze the social and economic problems derived from the loss of operation on the bridge based on information gathered from structured and non-structured interviews, documenting that there was great social dissatisfaction due to inflation, as well as great negative effect on some businesses.

In order to avoid greater problems in the future, for example, a collapse that could potentially claim human lives or bigger economic losses, we suggest that the corresponding authorities take strict measures to control the vehicular flow of the Corpac bridge. Furthermore, we recommend the commission of engineers specializing in structures to perform more continuous inspections on the bridge, performing a correct maintenance of the infrastructure and building alternative roads for the benefit of the population.

Keywords: Damage in bridges. Structural rehabilitation. Socioeconomic impact. Corpac Bridge

IMPACTO SOCIOECONÓMICO DERIVADO DEL CIERRE VEHICULAR POR LOS DAÑOS EN EL PUENTE CORPAC DE TINGO MARÍA, HUÁNUCO EN FEBRERO DE 2020

RESUMEN

En esta investigación se efectúa una breve descripción de los daños y la rehabilitación del puente Corpac de Tingo María, Perú con base en información recabada de distintos medios de comunicación e investigación de campo in situ, registrándose que, debido al tránsito de vehículos que excedieron la carga máxima permisible y a la falta de mantenimiento de la obra de infraestructura vial, se produjeron varios daños, tales como un deslizamiento en el patín inferior de la viga del carril izquierdo con dirección a Castillo Grande y una fractura a lo largo de la soldadura entre algunas placas y vigas de acero. Para las reparaciones se efectuaron soldaduras empleando electrodo E 7018.

Posteriormente, en este trabajo se analizan los problemas sociales y económicos derivados del cierre vehicular del puente con base en información obtenida de entrevistas estructuradas y no estructuradas, documentándose que se produjo un gran descontento social por la inflación, así como grandes afectaciones en algunos negocios.

Para evitar problemas más graves en el futuro, por ejemplo, un colapso que propicie víctimas humanas o mayores pérdidas económicas se sugiere que las autoridades correspondientes tomen medidas estrictas para controlar el tránsito vehicular del puente Corpac. Además, se recomienda comisionar a Ingenieros especialistas en Estructuras para realizar inspecciones más continuas de esta construcción, llevar a cabo un correcto mantenimiento de la obra de infraestructura y construir vías alternas para el beneficio de la población.

Palabras Claves: Daño en puentes. Rehabilitación estructural. Impacto socioeconómico. Puente Corpac

1 INTRODUCCIÓN

Los puentes se construyen para salvar cruces a desnivel o algún accidente geográfico como corrientes de agua y depresiones del relieve topográfico con el objetivo de generar una circulación fluida y continua de peatones, ductos de los diferentes servicios o vehículos para mejorar la calidad de vida de las comunidades. Si estas obras de infraestructura colapsan o sufren daños, ya sea por sobrecargas, influencia del ambiente u ocurrencia de fenómenos naturales (vientos, sismos, inundaciones, entre otros) pueden causar desde un congestionamiento vial hasta la interrupción de diversas actividades económicas, derivándose grandes pérdidas económicas e inclusive víctimas humanas (Gómez *et al.*, 2006, García *et al.*, 2014). Este problema, que es de interés para la Ingeniería Civil, Economía, Sociología y Política, nos motivó a desarrollar la presente investigación y en tal sentido, el puente Corpac de Tingo María constituye un interesante caso de estudio.

En general, los puentes son importantes porque elevan la competitividad y plusvalía de la región donde se construyen, favorecen al crecimiento económico que beneficia a diversos sectores como el de la construcción y el turismo, permiten la conexión o acortan distancias para el transporte de mercancías y personas y en general responden a necesidades o solicitudes por parte de la población (Placencia, 2014; VISE, 2016).

Por ello, el Ingeniero Civil considera la sustentabilidad en los proyectos de puentes incluyendo las dimensiones sociales, económicas y ambientales. Además, para el análisis y diseño de estas estructuras, el Ingeniero especialista en Estructuras toma en cuenta las solicitudes pertinentes, se basa en un reglamento de construcción vigente y se asiste de un software de cálculo estructural con la finalidad de evitar su colapso garantizando la seguridad de las personas y de asegurar su funcionalidad para evitar o minimizar pérdidas económicas (Lobo, 2001; MTC, 2003, Rivera y Meli, 2008; Rodríguez, 2012; AASHTO, 2014; Monleón, 2017).

Sin embargo, los puentes requieren continuamente de inspección, mantenimiento y conservación que garanticen en su vida útil un comportamiento seguro y adecuado, pero desafortunadamente en el mundo se puede observar que la mayoría presenta condiciones patológicas críticas que, aunque algunas veces no están asociadas a daños sísmicos, reducen la capacidad estructural para soportar sismos que pudieran ocurrir (Molina *et al.*, 2012; Mascia y Sartoti, 2011; Molina *et al.*, 2012, Jara *et al.*, 2006). Se ha observado que las razones por las que existe un rezago en la conservación de estas obras de infraestructura vial son la escasez de recursos, la preferencia para dar mantenimiento a pavimentos y terracerías, así como la falta de cultura e impopularidad para la realización de operaciones y trabajos que las mantengan con sus características funcionales, resistentes e incluso estéticas (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2018). Particularmente en Perú se ha identificado que diversos puentes de la Red Vial con más de cincuenta años de uso han sufrido daños por falta de un mantenimiento adecuado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006), siendo el Puente Corpac de Tingo María un claro ejemplo y del que más adelante se describirá su patología.

Como se observó en el puente Corpac, cuando un sistema estructural se daña por algún evento, es necesario realizar oportunamente una evaluación de la seguridad estructural, diseñar el proyecto de rehabilitación y ejecutar las obras correspondientes para devolver su funcionalidad y restaurar el flujo peatonal o vehicular lo más pronto posible para minimizar las pérdidas económicas.

En esta investigación se describen brevemente los daños en el puente Corpac de Tingo María, Perú en febrero de 2020, los cuales se produjeron por la superación en exceso del peso máximo de tránsito permitido y por la falta de mantenimiento de la construcción, y después se explica concisamente la rehabilitación. Finalmente, se estudia el impacto socioeconómico derivado de la inoperatividad de esta obra de infraestructura vial con la finalidad de ofrecer algunas recomendaciones a las autoridades gubernamentales y a los habitantes para reducir la vulnerabilidad estructural del puente y de esa forma evitar pérdidas tangibles e intangibles en un futuro.

2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE CORPAC

El puente colgante Corpac se localiza en el departamento de Huánuco, República del Perú (figura 1). Fue construido en 1968 en Tingo María, Leoncio Prado para salvar el río Huallaga, que es un afluente del río Marañón y parte de la cuenca superior del río Amazonas, con la finalidad de conectar el distrito de Rupa Rupa con los distritos de Castillo Grande y Mariano Dámaso Beraún (figura 2 a). Esta obra de infraestructura vial tiene una longitud libre de 100.50 metros (figura 2 b) y es sostenida por cables de acero que transfieren su carga a anclajes de concreto ubicados a aproximadamente 25 metros de los estribos.

Desde hace varios años en el puente Corpac transitan vehículos de alto tonelaje trasladando productos agrícolas, material de construcción y maquinaria pesada.



Figura 1 Ubicación geográfica del puente Corpac. Fuente: Google Maps



a)



b)

Figura 2 Vista del puente Corpac de Tingo María, Perú; a) Lateral. Fuente: De autores (2020); b) Frontal. Fuente: De autores (2020)

3 VULNERABILIDAD SOCIAL Y ECONÓMICA DE HUÁNUCO

El departamento de Huánuco tiene una población de 721,047 habitantes y su capital y ciudad más poblada es Huánuco. Una de sus once provincias es Leoncio Prado cuya capital es Tingo María, la cual es conocida como “La Bella Durmiente”, se ubica a 135 km de la ciudad de Huánuco y tiene una superficie de 4,395.46 km² y alrededor de 50,000 habitantes (Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, 2020).

Huánuco dispone de un gran potencial de recursos naturales. Por su ubicación geográfica, constituye la puerta de entrada a la Amazonía Peruana a través de la ciudad de Tingo María, que por su localización es el eje de desarrollo de la Selva Central del Perú, integrándose económicamente con las regiones de Ucayali y Loreto. Por otra parte, es una gran fuente de abastecimiento de productos agrícolas a la capital del Perú, Lima (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2000). Además, cuenta con diversos lagos y lagunas, y es recorrida por numerosos ríos (Marañón, Huallaga, Pachitea, entre otros) que le imprimen una gran aptitud como generador de energía hidroeléctrica.

La agricultura es la principal actividad económica de la población de Huánuco, puesto que concentra alrededor del cincuenta por ciento del empleo en la región, siendo la papa y la arveja grano verde los principales cultivos. En la provincia de Leoncio Prado se cultivan el café, cacao, maíz amarillo duro, frijol grano seco, arroz, plátanos, yuca, entre otros, así como árboles y palmeras frutales, entre los que destacan: papaya, mango, piña, sapote, aguaje, pijuayo y caimito. Tingo María cuenta con la planta de transformación de cacao y café a cargo de la Cooperativa Naranjillo y la Universidad Nacional Agraria de la Selva, a través de su Centro de Producción Planta Piloto. Sin embargo, la productividad de la mano de obra en Huánuco aún se encuentra rezagada con respecto al promedio nacional, debido principalmente al bajo nivel de capitalización del sector. Además, presenta una significativa actividad pecuaria, en la que el ganado principalmente es vacuno, porcino y ovino. Dada su disponibilidad de recursos hídricos, es atractiva para la acuicultura teniendo una alta producción de trucha. Asimismo, cuenta con un enorme potencial para la actividad forestal (Banco Central de Reserva Natural, 2015).

El departamento de Huánuco posee una gran cantidad de atractivos turísticos. Particularmente en Leoncio Prado algunas atracciones son la Cueva de las Lechuzas del Parque Nacional de Tingo María, la Cueva de las Pavas y las cataratas de Santa Carmen y San Miguel. Incluso, los empresarios de Tingo María consideran que la situación de sus unidades económicas ha venido mejorando, especialmente aquellas dedicadas al turismo (Salazar, *et al.*, 2017).

Con respecto a los indicadores de bienestar social en Huánuco, en los últimos años se ha observado que los niveles de pobreza han tenido una tendencia decreciente, sin embargo, las tasas aún se mantienen por encima en comparación con los demás departamentos del país. Por otra parte, aunque los indicadores educativos han mostrado un cierto progreso, las brechas con el resto del Perú son muy significativas. En el caso de la salud se han observado mejoras importantes en diversos indicadores, aunque hay algunas áreas donde es necesario reforzar las acciones, por ejemplo, los índices de desnutrición crónica infantil son más elevados que los del promedio nacional (Banco Central de Reserva Natural, 2015).

4 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Se realizó una observación directa del puente Corpac de Tingo María, desde la prohibición del paso vehicular hasta su reapertura con la finalidad de registrar el proceso llevado a cabo para devolver la funcionalidad de la estructura y el tiempo de inoperatividad.

Para documentar la patología estructural del puente se efectuó una investigación de campo in situ y un análisis documental con base en noticias obtenidas de periódicos, televisión digital, entre otros medios de comunicación, en las cuales fueron entrevistados Ingenieros Civiles y trabajadores de obra que participaron en la rehabilitación.

Por otra parte, se aplicaron entrevistas informales a los habitantes en el momento del cierre del puente y durante las reparaciones para determinar cómo es que esto los afectó. Además, se realizaron entrevistas estructuradas a dueños de unidades económicas, tales como agencias de viaje, tiendas de abarrotes, venta de comida, bebidas y artesanías para estudiar el impacto generado en estos negocios por el cierre vehicular del puente.

5 RESULTADOS

5.1 Tiempo de cierre vehicular del puente Corpac

Se observó que el cierre vehicular del puente Corpac de Tingo María, Perú tuvo una duración de un poco más de seis días. Esta restricción impuesta por las autoridades comenzó el 8 de febrero de 2020 alrededor de las 11:00 horas tras recibir una alerta de transeúntes que escucharon sonidos extraños emitidos por la estructura y culminó el 14 de febrero a la 1:00 pm una vez que se efectuaron las últimas inspecciones de las reparaciones. Asimismo, el paso peatonal fue suspendido únicamente por algunos lapsos muy breves mientras se efectuaban las soldaduras. En la figura 3 puede observar a la Policía Nacional del Perú de la División Provincial de Leoncio Prado resguardando el orden durante el tiempo de inactividad parcial de la obra de infraestructura vial.



Figura 3 Restricción del paso vehicular en el puente. Fuente: Usuario de redes sociales

En la figura 4 se muestra el proceso llevado a cabo para recuperar la operatividad absoluta de la construcción. Por otra parte, la patología estructural se describe en los siguientes dos apartados.

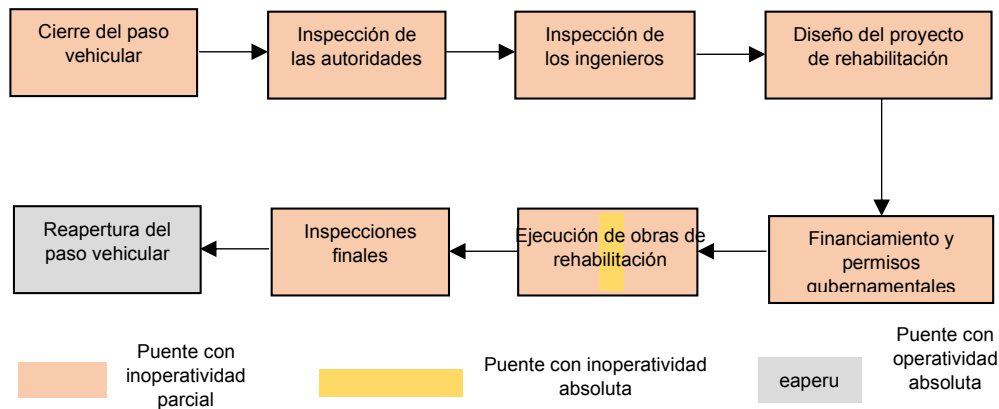


Figura 4 Proceso para la recuperación de la operatividad del puente. Fuente: Elaboración propia

5.2 Daños ocurridos en el puente colgante

Se registraron las siguientes afectaciones en el Puente Corpac originadas por el recurrente tránsito de vehículos que superaban el peso máximo permitido, que era de 30 toneladas por vehículo hasta antes del cierre, además del intemperismo y una falta de mantenimiento:

- Daños en los elementos estructurales de acero (figura 5), los cuales disminuyeron la capacidad de carga del sistema estructural:
- Una gran cantidad de miembros estructurales evidenció corrosión, generándose en estos una mala apariencia, pérdida de sección y disminución en su resistencia (figura 5 a). Esta reacción química propició que el acero perdiera electrones en presencia de oxígeno dando como resultado óxido de hierro. Las causas de este problema fueron la constante acción del agua y oxígeno haciendo contacto con los elementos de la estructura, puesto que en Tingo María el clima es cálido con lluvias intensas muy recurrentes, además de que se observó una falta de recubrimiento de protección de forma adecuada en el sistema.
- Un patín de la viga del carril izquierdo en dirección a Castillo Grande presentó un deslizamiento debido al paso de cargas superiores a las de diseño y a la corrosión (figura 5 b).
- Las uniones de varias placas y vigas fallaron debido a la fatiga del material, puesto que el puente está sujeto a cargas dinámicas cíclicas generadas por

los vehículos de gran peso, así como por la corrosión en el acero (figura 5 c). Se presentaron fracturas a lo largo de las soldaduras y grietas con un espesor de entre uno y dos centímetros.

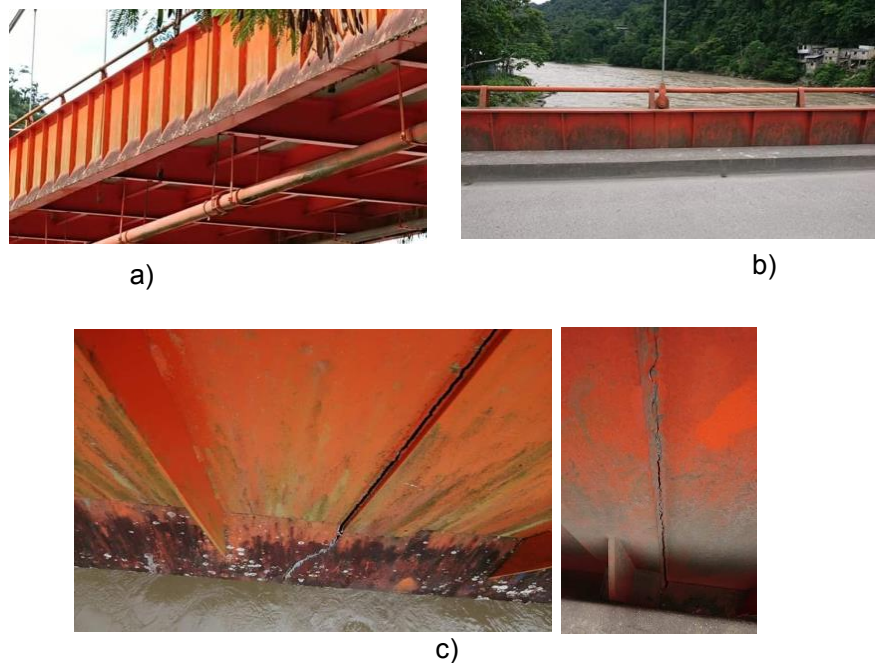


Figura 5 Daños en los elementos estructurales de acero del puente Corpac; a) Corrosión; b) Deslizamiento de patín; c) Fallas en las uniones y agrietamiento. Fuente: Usuarios de Facebook

- Deterioros en la superficie de rodamiento de concreto (figura 6), los cuales aminoraron el nivel de servicio de la estructura ocasionando una disminución en la seguridad vial y el confort del usuario:
 - Desintegración leve y progresiva en la superficie de rodamiento perdiéndose la textura y el mortero, quedando expuesto el agregado grueso (figura 6 a). Este daño fue propiciado por la acción del tránsito y probablemente por una dosificación y curado inapropiados.
 - Fisuras en la superficie de rodamiento del tablero de rodadura debido a la fatiga del concreto y el intemperismo (figura 6 b). Estas aberturas muy próximas entre sí tenían un ancho que no era considerable, no conformaban un patrón regular y se extendían con muy poca profundidad.



Figura 6 Daños en la superficie de rodamiento del puente Corpac; a) Desintegración leve y progresiva del concreto; b) Fisuras en el concreto. Fuente: Usuarios de redes sociales

5.3 Rehabilitación del puente colgante

Con respecto a la rehabilitación del puente Corpac, se observó que las fracturas a lo largo de las uniones, así como las grietas fueron reparadas con soldaduras empleándose E 7018 (figura 7). De acuerdo con las especificaciones de los proveedores basadas en el American Welding Society (AWS), en esta nomenclatura la E indica una soldadura con electrodo, el número 70 designa una resistencia mínima a la tensión de 70,000 lb/in² o PSI, mientras tanto, los dígitos 1 y 8 denotan de forma respectiva que el electrodo puede ser utilizado en todas las direcciones y tiene un bajo contenido de hidrógeno, pero cuenta con adiciones de polvo de hierro en el revestimiento para incrementar su rendimiento. Algunas de las ventajas del E 7018 son las siguientes (Romero, 2019):

- Posee una gran facilidad de encendido y reencendido.
- Puede aplicarse con corriente directa y electrodo positivo (polaridad invertida).
- Tiene una apropiada extensión del depósito con mínimo chisporroteo y de fácil limpieza, buena apariencia y remoción de escoria sin dificultad alguna.
- Es adecuado para realizar soldaduras en toda posición en aceros de alta resistencia mecánica.
- Está diseñado para trabajos donde se exija una alta temperatura de servicio (hasta 500°C).



Figura 7 Ejecución de actividades para la reparación de fracturas en las uniones y grietas del puente Corpac. Fuente: De autores (2020)

Los pasos efectuados en la técnica de soldeo se mencionan a continuación:

- Limpieza de las superficies para soldar, retirando los materiales contaminantes.
- Colocación del electrodo sin doblar en el portaelectrodos.
- Colocación de la ropa y del equipo de protección.
- Regulación del amperaje correcto en el equipo de soldadura y encendido de éste.
- Ubicación en la posición de soldadura correcta e inicio del arco.
- Movimiento del electrodo en la dirección de avance manteniéndose un ángulo con una ligera inclinación y la distancia a los elementos para soldar.
- Conforme se avanzó en la soldadura el electrodo fue consumiéndose, acortándose su longitud. Para compensarlo, se fue bajando en forma paulatina la mano que sostenía el portaelectrodos manteniéndose la distancia a los elementos. Es importante mencionar que se mantuvo una velocidad de traslación uniforme al soldar.
- Cepillado de las superficies soldadas.

No se dispone de información sobre qué método fue empleado para formar el arco eléctrico entre la punta del electrodo y el elemento a soldarse. Sin embargo, se conoce que el método de rayado consiste en raspar el electrodo contra la pieza metálica ya conectada al potencial eléctrico del equipo de soldadura, mientras que el método de contacto implica dar golpes suaves con la punta del electrodo sobre la pieza en sentido vertical. En ambos métodos debe formarse el arco cuando al bajar el electrodo contra el elemento se produzca un destello lumínico. Una vez

conseguido el arco, debe alejarse el electrodo del elemento aproximadamente 6 mm para así poder mantenerlo. Luego se disminuye la distancia a 3 mm y se realiza la soldadura (Castiñeira, 2020).

No se observó que la corrosión en los elementos de acero y los deterioros en la superficie de rodamiento de concreto se atendieran en la rehabilitación del puente.

5.4 Impacto socioeconómico propiciado por la restricción vehicular del puente

En la figura 8 se muestra un esquema de los subeventos en el tiempo derivados del cierre vehicular por los daños en el puente colgante Corpac. El impacto socioeconómico desencadenado de la pérdida temporal y parcial de la operatividad de la construcción se detalla a continuación.

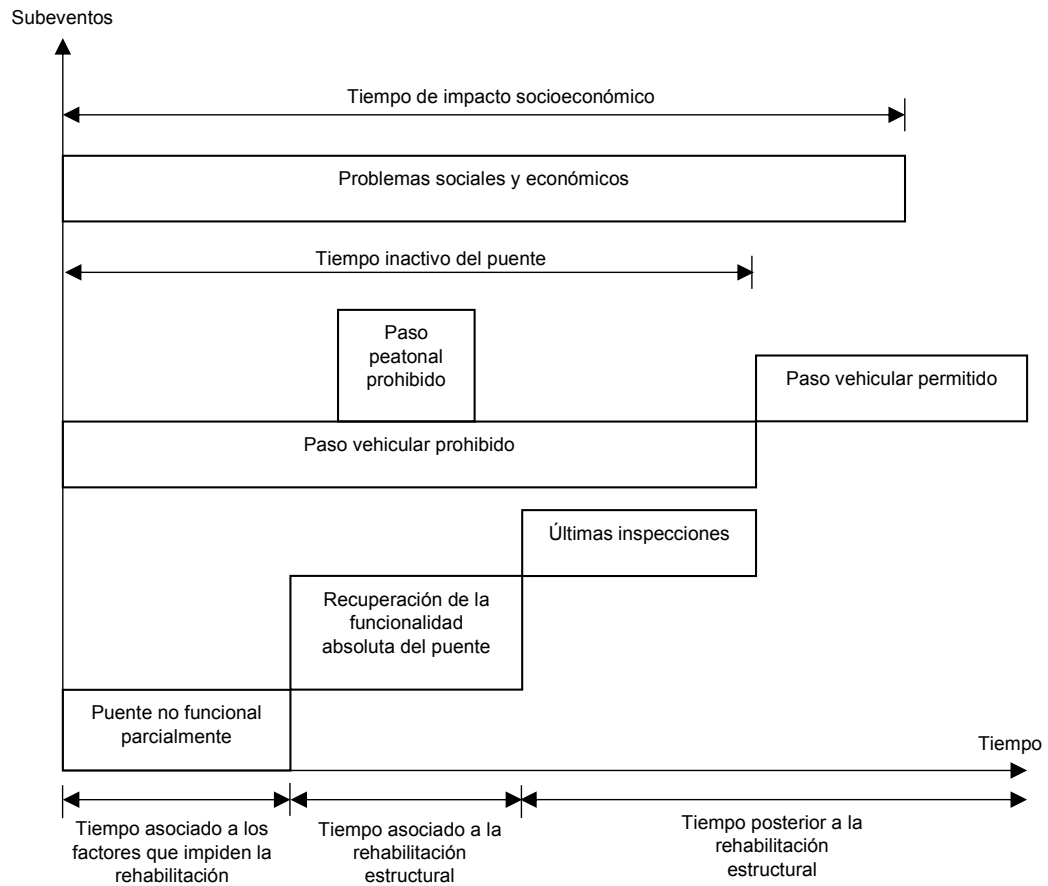


Figura 8 Subeventos en el tiempo por los daños en el puente. Fuente: Elaboración propia

Uno de los primeros problemas que se suscitó tras la prohibición del paso vehicular fue el descontento social, ya que muchos pobladores, al quedarse varados con sus vehículos en el lado opuesto del puente, manifestaron que se les debió haber comunicado con anticipación que se tomaría esta medida. Algunos de ellos pudieron encargar su moto, motoneta o automóvil con algún familiar o amigo, pero otros se vieron forzados a efectuar un pago por el alquiler de un estacionamiento. Inclusive, la gente también expresó su inconformidad durante las reparaciones del puente al considerar que este proceso se efectuaba con mucha demora.

Por otra parte, pese a que casi ninguno de los negocios cerró temporalmente, se observó que una gran cantidad de ellos experimentó alteraciones en las transacciones, debido a que se vieron en la necesidad de incrementar el precio de venta de sus productos (tabla 1) o servicios a causa del aumento de gastos de logística, puesto que los dueños tuvieron que pagar el servicio que ofrecían personas para trasladar los activos tangibles de un extremo a otro del puente. Se documentó que el precio del servicio de traslado, el cual se realizó asistiéndose de carretillas y carritos de carga manual en forma de "L" (figura 9), fue de tres soles por cada viaje.

Tabla 1 Algunos productos de tiendas de abarrotes que sufrieron un aumento en el costo para el cliente. Fuente: Elaboración propia

Producto	Precio de venta en soles antes del cierre vehicular	Precio de venta en soles hasta dos días después de reabrir el paso vehicular	Aumento en el precio de venta (%)
Detergente (90 g)	1.00	1.20	20.00
Fideo (1 kg)	5.50	5.70	3.64
Aceite (450 ml)	4.00	4.30	7.50
Paquete de sal	1.20	1.30	8.33
Lata de leche (400 g)	3.50	3.80	8.57
Arroz (1 kg)	3.50	3.70	5.71
Gaseosa (400 ml)	1.00	1.20	20.00
Suavizante para ropa	1.00	1.20	20.00



Figura 9 Forma de traslado de los productos debido a la restricción vehicular del puente. Fuente: De autores (2020)

Sin embargo, la inflación no sólo afectó a los negocios cuyos primeros efectos directos estribaron en vender menos de lo habitual, sino que también perjudicó a la economía de miles de familias. Por ejemplo, antes de la prohibición del paso vehicular, un menú (comida corrida) costaba 5.0 soles, mientras que hasta dos días después de la reapertura del paso vehicular costó 6.00 soles, lo que representó un aumento del precio de venta del 20.00 %. Análogamente, 1 kg de pollo experimentó un cambio de 8.50 a 9.50 soles, lo cual implicó una elevación del 11.76 %. Esto se debe a que a menudo la inflación es nociva para el crecimiento económico en general (Gutiérrez y Zurita, 2006; Moreno, *et al.*, 2014).

Además de que los pobladores pagaron una mayor cantidad monetaria por la adquisición de varios productos, tuvieron complicaciones para trasladarse desde sus casas hacia sus destinos finales, ya que el tiempo y costo incrementó notoriamente. Particularmente, para ir de una vivienda ubicada en Castillo Grande a la Universidad de Huánuco, sede Leoncio Prado, antes de que se prohibiera el acceso a los vehículos habitualmente se requería de un sólo trayecto con un costo por el servicio de transporte desde 2.00 hasta 2.50 soles, mientras que durante el acordonamiento fue necesario efectuar un viaje en mototaxi desde la vivienda hasta un extremo del puente con un costo entre 1.50 y 2.00 soles, caminar a lo largo de la obra de infraestructura vial y realizar otro viaje desde el otro extremo de ésta hasta la Universidad con un costo de 2.00 soles, lo que significó un incremento total del costo para trasladarse hasta del 100 % en ocasiones.

Uno de los sectores empresariales más afectados fue el de servicios de turismo, ya que para el distrito de Castillo Grande y algunas zonas del distrito de Mariano Dámaso Beraún el puente es la única vía de acceso vehicular hacia la Cueva de las Lechuzas del Parque Nacional de Tingo María, que es una de las grandes atracciones turísticas de Huánuco.

De acuerdo con una entrevista que se aplicó a una agencia de viajes, el dueño indicó que, producto de los daños en el puente Corpac de Tingo María y su eventual restricción vehicular hasta la rehabilitación de la estructura, el negocio sufrió una minoración en sus ganancias por varias razones con base en el estado de resultados. Además de que hubo menos personas que contrataron los servicios de la unidad económica con respecto a lo estándar, de las personas que habían adquirido un paquete turístico para la Cueva de las Lechuzas, sólo el 50 % tuvo flexibilidad para cambiarlo a una atracción distinta de la zona, mientras que el otro 50 % se mantuvo en la postura de visitar la Cueva, por lo que estos turistas tuvieron costos adicionales por el aumento en el costo para transportarse, los cuales no fueron cubiertos por la empresa turística representando una pérdida en su imagen y en la del turismo en general de Tingo María. No obstante, la empresa sí absorbió dichos gastos para aquellos que habían contratado un paquete por varios días.

Asimismo, dada la interdependencia empresarial, no sólo el Parque Nacional de Tingo María vio reducidos sus ingresos a causa de que tuvo un menor número de visitas de turistas, sino que los negocios aledaños a este, tales como restaurantes o los enfocados a ventas de bebidas exóticas y artesanías, también experimentaron pérdidas por la disminución de clientes.

No obstante, el impedimento del paso de los vehículos en el puente Corpac generó empleos para una minoría de la población. Como ya se ha citado, hubo

personas brindando sus servicios para el traslado tanto de los activos tangibles de ciertos negocios como de determinadas pertenencias de los habitantes. Además, previo a la restricción sólo había algunos negocios establecidos alrededor del puente, por el contrario, derivado de este evento se observó una gran cantidad de unidades económicas adicionales ofreciendo sus productos en un sitio aledaño al puente, de las cuales algunas de ellas ya operaban anteriormente en otro lugar, pero optaron por reubicarse para aumentar sus utilidades. Predominaron los negocios enfocados a la venta de frutas (figura 10 a), de bebidas como refrescos y gaseosas, y de comida como juane, menudencia, papa rellena y carne a la parrilla (figura 10 b), sin embargo, también se observaron algunos destinados a la venta de sombrillas y bolsas para mercado. De los negocios comerciales ya existentes, con base en una entrevista se registró que la mayoría presentó un aumento en la productividad a causa del incremento de la demanda, sin embargo, para una minoría la amplificación de la competencia de mercado representó un gran problema.



Figura 10 Algunos negocios establecidos alrededor del puente; a) De venta de frutas. Fuente: Huánuco Informa; b) De bebidas y platillos. Fuente: Uranio TV Digital

6 CONCLUSIONES

Con la realización de esta investigación fue posible identificar que se presentaron los siguientes daños en el puente Corpac de Tingo María en febrero de 2020:

- Deslizamiento de un patín de la viga del carril izquierdo en dirección a Castillo Grande.
- Fallas en las uniones de placas y vigas.
- Corrosión en elementos estructurales de acero.
- Deterioros leves en la superficie de rodamiento de concreto.

Se registró que estos daños fueron provocados por el recurrente tránsito de vehículos que excedían el peso máximo permitido, así como por el intemperismo y la falta de mantenimiento de la construcción.

El cierre del paso vehicular a causa de los daños en el puente Corpac derivó grandes problemas socioeconómicos en los distritos de Rupa Rupa, Castillo Grande y Mariano Dámaso Beraún; por ejemplo, varios negocios tuvieron aumento de

gastos de logística y disminución de clientes, además, la inflación afectó la economía de la mayoría de las familias, ya que el precio de venta de una gran cantidad de productos, incluyendo los de canasta básica, así como del servicio de transporte incrementó considerablemente, por lo tanto, este contexto propició un descontento social.

La colaboración de los habitantes en general y no sólo de las autoridades gubernamentales es importante para un uso adecuado del puente y de esa forma evitar que ocurran problemas sociales y económicos iguales e incluso más catastróficos en comparación a los acontecidos en esta ocasión. Si no se implementan medidas más estrictas para el tránsito vehicular y éstas no son acatadas, podrían presentarse daños estructurales más severos en el puente que requieran de un proceso de rehabilitación más complejo derivándose un periodo muy largo del cierre vehicular, inclusive, en el peor de los casos, la obra de infraestructura vial podría colapsar y causar víctimas humanas.

7 RECOMENDACIONES

Se sugiere que las autoridades competentes lleven a cabo acciones para garantizar que en el puente colgante no transiten vehículos con una carga que exceda a la recomendada por los ingenieros, pero también se requiere que la población sea consciente y acate las disposiciones. Asimismo, se recomienda comisionar a ingenieros civiles especialistas en estructuras para realizar inspecciones continuas, además de efectuar un correcto mantenimiento de la obra de infraestructura vial con la finalidad de reducir su vulnerabilidad estructural. Por otra parte, para el beneficio de la población, es indispensable la construcción de vías alternas, ya que Tingo María sólo dispone de un puente vehicular.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado al primer autor durante la realización de esta investigación. Además, damos las gracias a los medios de comunicación, ingenieros y trabajadores de obra por la información brindada de manera indirecta sobre la patología del puente y otros aspectos relevantes en este trabajo. Finalmente, reconocemos la accesibilidad de los dueños de unidades económicas y pobladores para ser entrevistados, siendo posible la obtención de información valiosa sobre los problemas sociales y económicos desencadenados por el cierre vehicular del puente.

REFERENCIAS

AASHTO. (2014). *Diseño de puentes*.

Banco Central de Reserva del Perú. (2015). *Informe Económico y Social: Región Huánuco*. Huánuco: Banco Central de Reserva del Perú.

Castiñeira, N. H. (2020). *Actividades soldadura por arco*. Obtenido de Educación Tecnológica:

http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page266.htm

- García, J. M., Ospina, J., & Graciano, E. (2014). "La infraestructura de puentes en las vías secundarias del departamento de Antioquia". *Revista EIA*, 119-131. DOI: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2014.11.22.119-131>.
- Gómez, C., Barrera, L. A., & Miranda, D. (2006). "Metodología de estimación preliminar de la vulnerabilidad de puentes basada en procedimientos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Aplicación a puentes carreteros del pacífico". *Memorias del XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. Puerto Vallarta: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- Gutiérrez, O., & Zurita, A. (2006). "Sobre la Inflación". *PERSPECTIVAS*, 81-115.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2000). *Conociendo Huánuco*. Lima: INEI.
- Jara , M., Álvarez, J., & Jara, J. (2006). "Algunas deficiencias de puentes sísmicamente vulnerables. *XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*". Puerto Vallarta : Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- Lobo, W. (2001). "Diseño sísmico de puentes: Estado del Arte". *Revista de Ingeniería Sísmica*, 55-71. DOI: 10.18867/RIS.63.224.
- Mascia, N., & Sartoti, A. (2011). "Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales". *Revista ingeniería de construcción*, 05-24. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732011000100001>.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2006). *Guía para inspección de puentes*. Lima: MTC y DGCF.
- Molina, M., Salgado, R., Zamora, S., Lagunes, E. G., & Viguera, M. O. (2012). "Detección de daño en puentes mediante un modelo experimental". *Memorias del XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural* . Acapulco: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural .
- Monleón, S. (2017). *Diseño estructural de puentes*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia
- Moreno, J., Rivas, J., & Villarreal, F. G. (2014). "Inflación y crecimiento económico". *Investigación Económica*, 3-23. DOI: 10.1016/S0185-1667(15)30006-0.
- MTC. (2003). *Manual de diseño de puentes*. Lima: MTC y DGCF.
- Municipalidad Provincial de Leoncio Prado. (2020). *Municipalidad Provincial de Leoncio Prado – Tingo María*. Obtenido de Datos geográficos de Tingo María : <http://www.munitingomaria.gob.pe/mplp/>
- Placencia , P. (2014). "Puentes, sociedad e ingeniería". *Informes de la construcción*, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.041>.

- Rivera, D., & Meli, R. (2008). "Procedimiento de diseño sísmico de columnas de puentes urbanos con concreto reforzado". *Revista de Ingeniería Sísmica*, 1-23. DOI: 10.18867/RIS.79.27.
- Romero, C. (2019). *Electrodo 7018*. Obtenido de Laminas y Aceros: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/electrodo-7018>
- Rodríguez, A. (2012). *Puentes con AASHTO-LRFD 2010*. Perú: Independiente .
- Salazar , I., Caro, N., & Zegarra, E. (2016). "Desempeño de la gerencia de desarrollo económico en la municipalidad de Leoncio Prado (Huánuco) y el desarrollo económico local". *RevIA Investigación y Amazonía* , 11-19.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2018). *Manual para conservación de puentes y estructuras similares*. Ciudad de México: SCT.
- WISE. (2016). *¿Por qué es importante construir puentes en ciudades y carreteras?*. Obtenido de WISE: <https://www.wise.com.mx/>

INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE MÉXICO PRODUCIDA POR EL SISMO DEL 19S DE 2017

Después del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017 en la frontera entre Puebla y Morelos, una gran cantidad de negocios establecidos en la Ciudad de México dejó de operar temporalmente e incluso de forma definitiva. De acuerdo con lo observado tras este evento destructivo, en este capítulo se identifican las fuentes y los períodos de interrupción de algunas unidades económicas, además de que se propone un modelo para determinar el tiempo de este cese. En el Anexo C3 (Ortiz y Reinoso, 2020) se puede consultar un mayor detalle sobre el modelo de interrupción de negocio por sismo, así como un ejemplo de aplicación a un negocio formal hipotético establecido en una edificación de dos niveles de mampostería confinada.

3.1 INTRODUCCIÓN

3.1.1 Breve descripción del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017

De acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional (2017a), el 19 de septiembre de 2017 se registró un sismo de magnitud Mw7.1 a las 18:14:40 hora GMT (13:14:40 hora local del centro de México), cuyo epicentro se localizó en la frontera entre los estados de Puebla y Morelos, a 12 km al sureste de Axochiapan, Morelos y a 120 km de la Ciudad de México. Las coordenadas del hipocentro fueron 18.40° latitud N y -98.72° longitud W y la profundidad fue de 57 km. El mecanismo focal del sismo mostró una falla de tipo normal, la cual es una característica de un sismo interplaca. En esta región la Placa de Cocos subduce por debajo de la Placa de Norteamérica. Por otra parte, un reporte elaborado por el Instituto de Ingeniería, UNAM (2017b) indicó que en la Ciudad de México la Aceleración Máxima del Suelo (Peak Ground Acceleration, PGA) registrada en la estación de la Ciudad Universitaria fue de 58.8 cm/s². La Figura 3.1 muestra el mapa de intensidades estimadas del evento mencionado.

3.1.2 Estado del arte

Los sismos generan grandes pérdidas económicas tanto por los daños directos como por el cierre de los negocios. Por ello, la reanudación de las operaciones normales de las unidades económicas lo más pronto posible es fundamental para minimizar pérdidas e inclusive evitar el fracaso de estas, así como para lograr la recuperación social y económica de las zonas afectadas (Alesch et al., 2009).

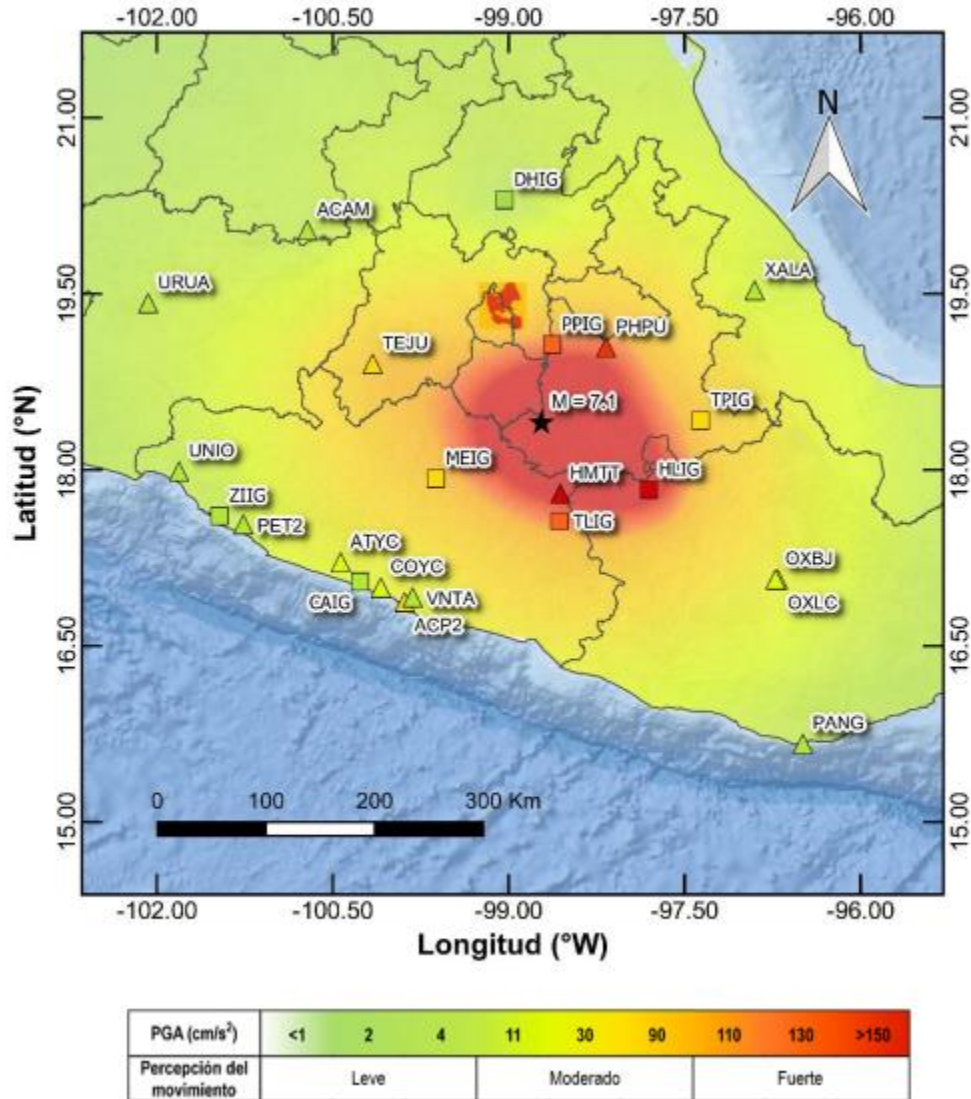


Figura 3.1 Mapa de intensidad de la Aceleración Máxima del Suelo (PGA) para el sismo del 19 de septiembre de 2017. Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM

El sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017 en México propició una paralización de las actividades en muchos negocios de la Ciudad de México y otros estados del país debido a daños directos en los edificios, quedando evidenciado que puede pasar mucho tiempo sin que se comience la rehabilitación de las construcciones. Asimismo, se registró que diversas unidades económicas tuvieron que suspender sus actividades aun cuando sus inmuebles resultaron sin perjuicios directos. Por ello, es una práctica común en algunos sectores que los dueños de los negocios tengan contratado un seguro de daños directos para que la rehabilitación estructural y arquitectónica del edificio o de los contenidos sea lo más pronto posible, así como un seguro para la pérdida por interrupción en caso de que ocurra algún evento muy fuerte.

La mayoría de los modelos que se han propuesto para estimar la pérdida económica probable por daños para diversas amenazas, principalmente para sismo, se han enfocado en el costo de reparación de la estructura (Scholl, 1979; ATC-13, 1985; Ordaz, et al., 2000; Haselton, et al., 2007 y 2011; Ramírez et al., 2012). Existen softwares que estiman la pérdida a partir del cálculo formal del riesgo sísmico de edificios

e infraestructura como CAPRA creado por ERN (Consortio Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina, n.d.) y HAZUS lanzado por FEMA (Federal Emergency Management Agency, 2013), sin embargo, ambos consideran la interrupción de negocios de manera muy aproximada.

El estudio de pérdidas por interrupción de negocio es relativamente reciente. Estas pérdidas muchas veces son mayores con respecto a las pérdidas por el daño a la propiedad (Tierney, 1997), además de que son más difíciles de estimar puesto que dependen de muchos factores (NRC, 1999), por lo que la mayoría de los seguros sólo las cubren sin hacer cálculos formales. En una investigación en la que se abordaron problemas conceptuales y se presentaron refinamientos en la metodología de pérdidas por interrupción de negocios para amenazas naturales en general, se estimaron las pérdidas por interrupción por los cortes de energía eléctrica como consecuencia del sismo de Northridge (Rose y Lim, 2002). Por otra parte, en un estudio sobre los impactos del sismo de Nisqually en el sector empresarial, se llevaron a cabo entrevistas con propietarios y gerentes de 107 empresas y se demostró que la recuperación del negocio no sólo está en función de las características de este, sino que también depende de las condiciones del vecindario (Chang y Falit-Baiamonte, 2002). Además, se han estudiado los impactos socioeconómicos que inducen la interrupción de líneas de vida tras los desastres naturales (Chang, 2016) y se han realizado análisis costo-beneficio para diversas acciones de resiliencia con la finalidad de reducir la interrupción de negocio (Rose, 2017).

Se tienen pocos modelos de pérdida por interrupción considerando al negocio individual como unidad de análisis. Se ha propuesto una metodología para estimar las pérdidas por interrupción por huracanes que comúnmente cubren las pólizas de seguro contemplando diversos componentes para el tiempo de inactividad y se ha demostrado que el riesgo de interrupción del negocio puede ser significativamente mayor cuando este depende de otros negocios con respecto a cuando no tiene negocios dependientes (Kumar y Guin, 2009). Asimismo, se ha desarrollado un modelo para estimar la pérdida económica por la interrupción en distintos tipos de negocios para los primeros días de haber ocurrido un sismo considerando varias fuentes de interrupción individual y simultáneamente, obteniéndose como resultados que los cortes de energía eléctrica y agua potable pueden causar potencialmente una mayor interrupción de negocio que los daños en el edificio (Chang y Lotze, 2014). No obstante, en ambos modelos no se describen a detalle las fuentes de interrupción ni se identifican las subfuentes derivadas de estas, ni tampoco se presenta un modelo matemático para determinar el tiempo total inactivo del edificio con base en la combinación de los distintos tiempos por las subfuentes con datos de entrada para estas. Otra de las limitantes es que en estas investigaciones no se abordan casos reales, ya que el modelo de Kumar y Guin es calibrado con un negocio hipotético situado en el condado de Hillsborough en Florida con base en la simulación de varios huracanes, mientras que el modelo de Chang y Lotze se aplica para un escenario producido por un sismo hipotético de M7.3 con epicentro en el estrecho de Georgia para el norte de Vancouver, Canadá.

Se dispone de poca información sobre pérdida por interrupción de negocios. El Centro de Investigación de Desastres en Delaware ha realizado estudios para obtener datos sobre el impacto a corto y largo plazo en las empresas por las catástrofes (Webb et al., 2002). Los datos de pérdida por interrupción de negocio cubiertas por los seguros en catástrofes históricas sólo están disponibles para las compañías de seguros y estas se limitan a colocar a disposición del público en general guías para el seguro de interrupción de negocio y reclamaciones, como la guía de LBIA (London Business Interruption Association, n.d.). Las empresas que sufren pérdida por interrupción por algún siniestro también se reservan esa información. Cuando los organismos públicos dan a conocer la cifra de pérdida total a nivel nacional luego de un desastre natural, esta no considera la pérdida por interrupción de negocios. Además, los organismos

INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE MÉXICO PRODUCIDA POR EL SISMO DEL 19S DE 2017

normalmente sólo publican datos sobre el número de negocios cerrados después de un sismo sin especificar las razones que lo llevaron a ese estado ni dar cifras sobre la pérdida económica en estos.

Por otra parte, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía informó que, de 2.041 millones de negocios, 39.3% tuvo que suspender actividades en algún momento, de los cuales, 43.2% fue por un día hábil, 23.4% por dos días, 10.8% por tres días, y al menos 22.6% por más de tres días a causa de los sismos del 7 y 19 septiembre de 2017 en México. Asimismo, reportó que el 90% de las empresas que sufrió afectaciones no ha recibido alguna ayuda y esta situación es más grave en Guerrero, donde el total de los afectados carece de apoyo. Es importante mencionar que las estadísticas fueron publicadas 10 días después de haber ocurrido el segundo evento destructivo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017).

3.2 MOTIVOS Y TIEMPOS DE CIERRE DE LOS NEGOCIOS DE LA CDMX

Tras el sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017, se observó que muchos negocios establecidos en la Ciudad de México tuvieron que cerrar debido a protocolos de seguridad iniciales, suspensión de servicios públicos de suministro, efectos de vecindario o daños físicos en los componentes del edificio. Como se muestra en la Tabla 3.1, cada una de estas fuentes de interrupción se clasifican en varias subfuentes de interrupción.

Tabla 3.1 Fuentes de interrupción de negocio observadas tras el sismo del 19S de 2017

Fuente de interrupción de negocio por sismo	Subfuente de interrupción
Protocolos de seguridad iniciales, PSI	Ocurrencia del sismo en horario laboral, OSHL
	Inspección post-sísmica del edificio, IPE
Suspensión de servicios públicos de suministro, SSPS	Suspensión del suministro de energía eléctrica, SSEE
	Suspensión del suministro de agua potable, SSAP
	Suspensión del suministro de gas, SSG
	Suspensión de servicios de telecomunicación, SST
Efectos de vecindario, EV	Complicaciones en vías de acceso al inmueble, CVAI
	Graves afectaciones en la zona, GAZ
	Daños severos o colapso parcial de edificio vecino, DSCPEV
Daños físicos en los componentes del edificio, DFCE	Colapso total de edificio vecino, CTEV
	Daño en elementos estructurales, DEE
	Daño en elementos no estructurales, DENE
	Daño en contenidos, DC

3.2.1 Protocolos de seguridad iniciales

El sismo de Mw7.1 ocurrió un martes dentro de la jornada laboral de la mayoría de los negocios, por lo que muchos de ellos suspendieron sus operaciones por el resto del día tras la evacuación del edificio y hasta nuevo aviso, a excepción del aeropuerto y algunos hospitales de la CDMX, los cuales lo hicieron únicamente por algunas horas, debido a que las revisiones indicaron que no existían daños directos ni efectos indirectos en los inmuebles correspondientes que pudieran poner en riesgo la seguridad de los ocupantes.

Una de las razones principales que forzó el cierre de las unidades económicas fue la inspección post-sísmica del edificio (Figura 3.2), la cual se realizó para determinar únicamente si este podía ocuparse o no de inmediato con la finalidad de evitar víctimas humanas ante las futuras réplicas o para prevenir pérdidas materiales evaluándose el riesgo de colapso del edificio e identificando si es que había daños en los componentes del edificio. Fue común que para poder efectuar la reapertura de negocios formales se requiriera de un dictamen tras una evaluación inicial del estado de la edificación en el que se indicara que el inmueble se clasificaba como “Edificación y área segura / Riesgo bajo”. Por ejemplo, la empresa de entretenimiento Cinépolis informó que 25 de sus complejos cerraron alrededor de seis días por este hecho y no por daños en sus edificios, mientras que una empresa financiera dedicada a otorgar créditos de consumo (Figura 3.2a), un museo público enfocado en presentar exposiciones de arte contemporáneo internacional (Figura 3.2b), un museo cultural para exhibir objetos artísticos (Figura 3.2c) y un teatro (Figura 3.2d) lo hicieron, de forma respectiva, por alrededor de dos, doce, doce y once días.



Figura 3.2 Algunos negocios que cerraron debido a la inspección post-sísmica del edificio tras el sismo del 19 de septiembre de 2017: a) empresa financiera; b) museo público; c) museo cultural; d) teatro. Fuente: Google

3.2.2 Suspensión de servicios públicos de suministro

De acuerdo con la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el sismo del 19 de septiembre de 2017 afectó a 4.8 millones de sus clientes, debido a que se produjeron algunos daños en el sistema de infraestructura de energía eléctrica, entre ellos caída de postes y cables, estallamiento de transformadores en la CDMX, tal como se muestra en la Figura 3.3 y afectaciones considerables en la subestación de Yautepec, Morelos. Con corte a las 19:00 horas y a las 22:00 horas del día de la ocurrencia del sismo el servicio había sido restablecido de manera correspondiente para el 58% y el 73% del total de los afectados, mientras que para el día siguiente con corte a las 8:00 horas y a las 21:00 horas el servicio se había restaurado de forma respectiva para el 92% y 95%. La falta de energía eléctrica produjo efectos negativos en una gran cantidad de negocios. Un caso al respecto es el de la empresa Oxxo, la cual cerró 30% de sus sucursales en la capital de México. Se registró que dos días después del sismo 267 tiendas de las 300 que habían dejado de operar efectuaron su reapertura.



Figura 3.3 Falla de transformadores en Av. Tláhuac ocasionada por el sismo del 19S de 2017. Créditos: Miguel A. Jaimes

Según CONAGUA, el sismo de Mw7.1 dejó en total un saldo aproximado de seis millones de personas damnificadas por corte de agua, producto de que la infraestructura de agua potable sufrió varias afectaciones, entre ellas 1, 22 y 13 fugas en acueducto de forma respectiva en los ramales de Peñón-Textcoco, Tláhuac-Nezahualcóyotl y Mixquic-Santa Catarina, daños en los equipos electromecánicos de 11 pozos del primer ramal citado, así como la caída de 21 transformadores y 42 bombas quemadas en la Ciudad de México. Además, se documentó que las fugas ocasionadas por este evento se presentaron en todas las alcaldías, no obstante, el mayor número de daños se originó en el Suroriente de la CDMX. Particularmente, en Iztacalco, Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco se registraron de manera correspondiente 3, 32, 15 y 11 fugas en la red primaria y 64, 291, 100 y 142 fugas en la red secundaria. Dentro de las

detectadas por el SACMEX, se observaron impactos en las caras adyacentes de los tubos de concreto que ocasionaron la ruptura en los puntos de unión de tramos de la tubería o separación entre ellos, rupturas en el cuerpo del tubo de tuberías de asbesto-cemento y separación entre tubos adyacentes que dañaron los empaques en las tuberías de acero, tal como se muestra en la Figura 3.4 (Ayala et al., 2019).

Las reparaciones efectuadas por SACMEX se hicieron mediante la colocación de silletas o empaques. Por la importancia social y económica que tiene el suministro de agua potable, aproximadamente cuatro días después del sismo del 19S de 2017 algunas personas afectadas comenzaron a recibir el servicio de manera provisional básicamente a través de pipas enviadas por el gobierno, sin embargo, de acuerdo con los testimonios de los habitantes el agua recibida no fue suficiente para abastecer a todos los damnificados, lo cual generó un caos a tal grado de que las pipas comenzaron a ser secuestradas, por lo que se vieron forzados a contratar el servicio con empresas privadas. Incluso existe evidencia de que en varias partes de las zonas de Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco se tuvo una suspensión del suministro de hasta por más de 10 días. Por otra parte, a más de 10 meses del sismo la Comisión para la Reconstrucción de Ciudad de México reportó un avance del 40 % en la reparación de la infraestructura hidráulica de drenaje y agua potable, de modo que el servicio no se encontraba normalizado aún.



Figura 3.4 Fugas en red primaria de la Ciudad de México derivadas del sismo del 19S de 2017: a) tubería de asbesto-cemento de 48 in ubicada en Tláhuac; b) tubería de acero de 30 in situada en Xochimilco. Fuente: Ayala et al. / Créditos: SACMEX

Con respecto a los servicios de telecomunicación, el día que aconteció el sismo las redes móviles de voz colapsaron por algunas horas, debido a que la mayoría de la población se comunicó por voz principalmente con sus familiares para informarse entre sí sobre el estado de salud mental y físico en el que se encontraban y para conocer si sus propiedades habían presentado afectaciones, pese a que se recomendó que esto se efectuará a través del envío de mensajes de texto o con aplicaciones de chat. Por el contrario, no se registró un colapso de las redes móviles de datos.

Por otra parte, el gobierno de la CDMX reportó que durante los primeros tres días tras el sismo se habían controlado más de mil fugas de gas, las cuales algunas ocasionaron explosiones e incendios. Asimismo, la empresa Gas Natural Fenosa informó que su red de distribución no experimentó daños en la infraestructura, pero que optó por suspender temporalmente el suministro del servicio en los edificios que resultaron dañados y estaban conectados a la red de gas con la finalidad de garantizar la seguridad de los

usuarios y de la población en general. En general, se sugirió a los habitantes cerrar la llave del gas el día del sismo para evitar siniestros.

3.2.3 Efectos de vecindario

Tras el sismo de Mw7.1, se observó que algunos negocios interrumpieron su funcionamiento por efectos de vecindario, más no por daños en sus edificios. Por ejemplo, esto sucedió cuando un edificio vecino colapsó totalmente, donde el tiempo inactivo aumentó cuando hubo víctimas humanas debido a que la remoción de escombros no pudo llevarse a cabo hasta la finalización de las labores de rescate, tal como se muestra en la Figura 3.5.



Figura 3.5 Actividades de rescate tras el colapso del Colegio Enrique Rébsamen. Se identificaron 19 niños y 7 adultos fallecidos. Fuente: Infobae

En esta investigación se documentó que una sociedad civil dedicada a la vinculación y administración de programas de becarios, cuyo edificio donde operaba se muestra en la Figura 3.6, presentó una paralización de sus actividades por 30 días, ya que por medidas de seguridad los directivos tuvieron que esperar alrededor de 10 días hasta la culminación de labores de rescate de víctimas humanas y 20 días más hasta la finalización de la remoción de escombros de un edificio vecino colapsado llamado Medellín para poder efectuar la reapertura.



Figura 3.6 Aunque el edificio no experimentó daños, la sociedad civil tuvo que cerrar por 30 días debido al colapso de un edificio vecino. Fuente: Google

El daño severo o colapso parcial de un edificio también provocó que los establecimientos económicos de los alrededores cerrarán por su seguridad o al menos les generó una disminución en sus ingresos debido a la ausencia de clientes, generalmente por la desconfianza de estos ante los acordonamientos que incluso fueron necesarios para cerrar calles. En particular, los daños en un edificio de departamentos ubicado en Av. Sonora 149 de la colonia Condesa que lo pusieron en riesgo de colapso, forzaron el cierre de un taller de bicicletas situado en Av. México 13 (Figura 3.7a), no obstante, el dueño declaró que lo pudo reubicar en una banca del parque México, sin embargo, las actividades fueron desarrolladas ante varias adversidades, tales como condiciones climatológicas complicadas y escasez de herramienta, por lo que las ganancias se aminoraron notablemente. De igual forma, otro local comercial aledaño afectado fue una sastrería en Citlaltépetl 23 (Figura 3.7b), ya que de acuerdo con el propietario 90% de sus clientes disminuyó e inclusive casi todos abandonaron su ropa, por lo que a un mes de haber ocurrido el evento destructivo sus ventas aún eran prácticamente nulas.



Figura 3.7 Negocios afectados por los daños físicos en un edificio vecino en la colonia la Condesa: a) taller de bicicletas; b) sastrería. Fuente: Noticieros televisa

Como se muestra en la Figura 3.8, para aquellos inmuebles de la Ciudad de México en los que la rehabilitación no fue viable, se requirió de su demolición empleando maquinaria y trabajos manuales, ya que el uso de explosivos se prohibió para evitar afectaciones directas a edificaciones contiguas, además de procurar la seguridad de los transeúntes, puesto que la capital del país es una de las ciudades más pobladas en el mundo. Aun así, los negocios adjuntos no estuvieron exentos de un impacto negativo.



Figura 3.8 Demolición de un edificio ubicado en Paseo de los Laureles, colonia Paseos de Taxqueña, alcaldía de Coyoacán. Fuente: Milenio / Créditos: Secretaría de Obras y Servicios CDMX

Por otra parte, algunas empresas perdieron su operatividad por un período producto de las complicaciones en las vías de acceso al inmueble, es decir, por el congestionamiento ante la emergencia del desastre y los daños (incluyendo colapsos) tanto de carreteras como de puentes que dificultaron o impidieron la asistencia del personal y de los clientes o consumidores a las instalaciones. Por ejemplo, a las oficinas ubicadas en Polanco de una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de tableros de madera (alta densidad, enchapados, MDF, etc.) no les fue posible desarrollar sus actividades por 4 días por esta razón (Figura 3.9).



Figura 3.9 El personal de unas oficinas situadas en un edificio de Polanco no pudo laborar por 4 días a causa de las complicaciones para trasladarse al inmueble. Fuente: Google

Además, a un mes del sismo varios empresarios y empleados declararon que los negocios en la Condesa se estaban viendo seriamente afectados por el desastre generalizado en la zona (Figura 3.10). Específicamente, un comerciante de lotería indicó que debido al cierre de calles el flujo de personas disminuyó, mientras que el personal de una taquería comentó que muchos de sus clientes ya no asistían a su establecimiento comercial porque los edificios en los que estos trabajaban se habían dañado severamente, en tanto, la capitana de una pescadería mencionó que antes del evento destructivo diariamente asistían al local alrededor de 300 personas, en contraste a las 20 personas que acudían como máximo tras la reapertura (Figura 3.10a). Asimismo, un tapicero citó que tenía menos trabajo puesto que mucha gente estaba migrando (Figura 3.10b) y la dueña de un salón de belleza enmarcó la importancia de volver a tener clientes para poder recuperar la productividad.

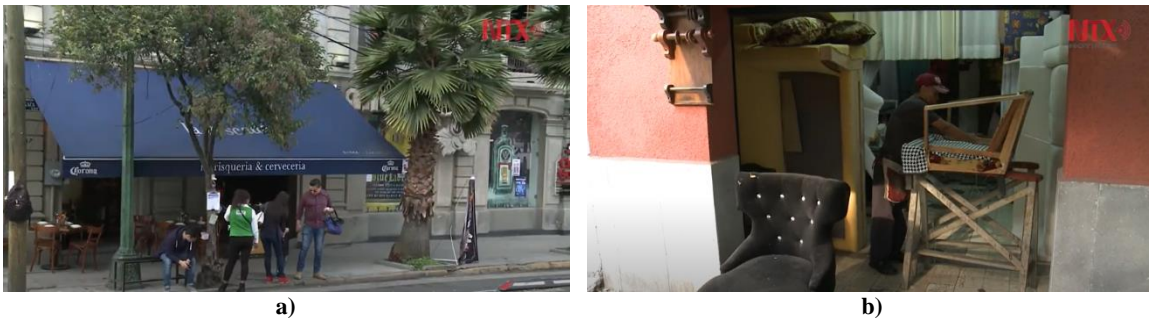


Figura 3.10 Unidades económicas en la Condesa afectadas por el desastre generalizado en la zona: a) pescadería; b) tapicería. Fuente: Notimex Tv / Créditos: José Luis Leone et al.

3.2.4 Daños físicos en los componentes del edificio

El sismo del 19 de septiembre de 2017 provocó que diversas empresas cerraran por los daños directos en sus edificios. Aunque en algunos casos no se presentaron afectaciones en el sistema estructural, la interrupción fue necesaria ante los perjuicios en los contenidos o en los elementos no estructurales, tal como se muestra en la Figura 3.11.



Figura 3.11 Negocios que paralizaron sus actividades como consecuencia de los daños directos no estructurales en el edificio: a) afectaciones en el stock de una Comex en Av. Tláhuac. Créditos: Miguel A. Jaimes; b) afectaciones en los plafones en oficinas de la PGR. Fuente: Sin Embargo / Créditos: Trabajadores de la PGR

Aunque los daños en los elementos no estructurales (muros divisorios, ventanas, puertas, plafones, entre otros) no ponen en peligro la estabilidad global de la edificación, se deben rehabilitar a la brevedad para recuperar la funcionalidad del inmueble, ya que pueden poner en riesgo la integridad del personal y de los clientes, además de que generan desconfianza en estos, sobre todo en aquellos negocios en los que se está en contacto directo. Algo análogo ocurre con el daño de contenidos tales como maquinaria, mobiliario, equipos y stocks con el problema adicional de que estos pueden impedir totalmente el desarrollo de actividades empresariales específicas, sin embargo, el tiempo de interrupción se puede minimizar si el negocio cuenta con activos tangibles de repuesto. Pese a que los contenidos no se dañen al deslizarse o volcarse por el sismo, la unidad económica puede experimentar una breve interrupción por el reacomodo de estos.

Por otra parte, en la Figura 3.12 se muestran algunas tiendas departamentales y plazas comerciales de la Ciudad de México que fueron afectadas por el sismo de M7.1. Dentro de las que continuaban cerradas con fecha de corte al 21 de septiembre de 2017 sin tener certeza sobre cuándo sería el reinicio de sus actividades estaban las siguientes:

- Plaza Galerías Coapa, ubicada en la colonia Residencial Acoxta, como consecuencia de los daños severos en la fachada y en los dos puentes que conectan con el estacionamiento (Figura 3.12a).
- Una tienda departamental establecida en Polanco, la cual evidenció daños en la fachada, así como grietas en pilares del estacionamiento y algunos muros interiores (Figura 3.12b).
- Plaza Galerías Polanco, localizada sobre avenida Horacio y la calle Torcuato Tasso, debido a que se quebraron los vidrios de la fachada (Figura 3.12c).
- Fórum Buenavista, situada en avenida Insurgentes y Eje 1 Norte, puesto que se cayeron varios plafones (Figura 3.12d).

INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE MÉXICO PRODUCIDA POR EL SISMO DEL 19S DE 2017

- Algunas tiendas departamentales de Parque Lindavista, en la calle Colector 13 de la colonia Magdalena de las Salinas, producto de que se rompieron cristales, entre otros daños (Figura 3.12e).

Con relación al centro comercial Perisur, ubicado en Insurgentes y Periférico Sur, sólo estuvo cerrado dos días, sin embargo, una de sus tiendas departamentales aún tenía grietas severas en la fachada (Figura 3.12f).

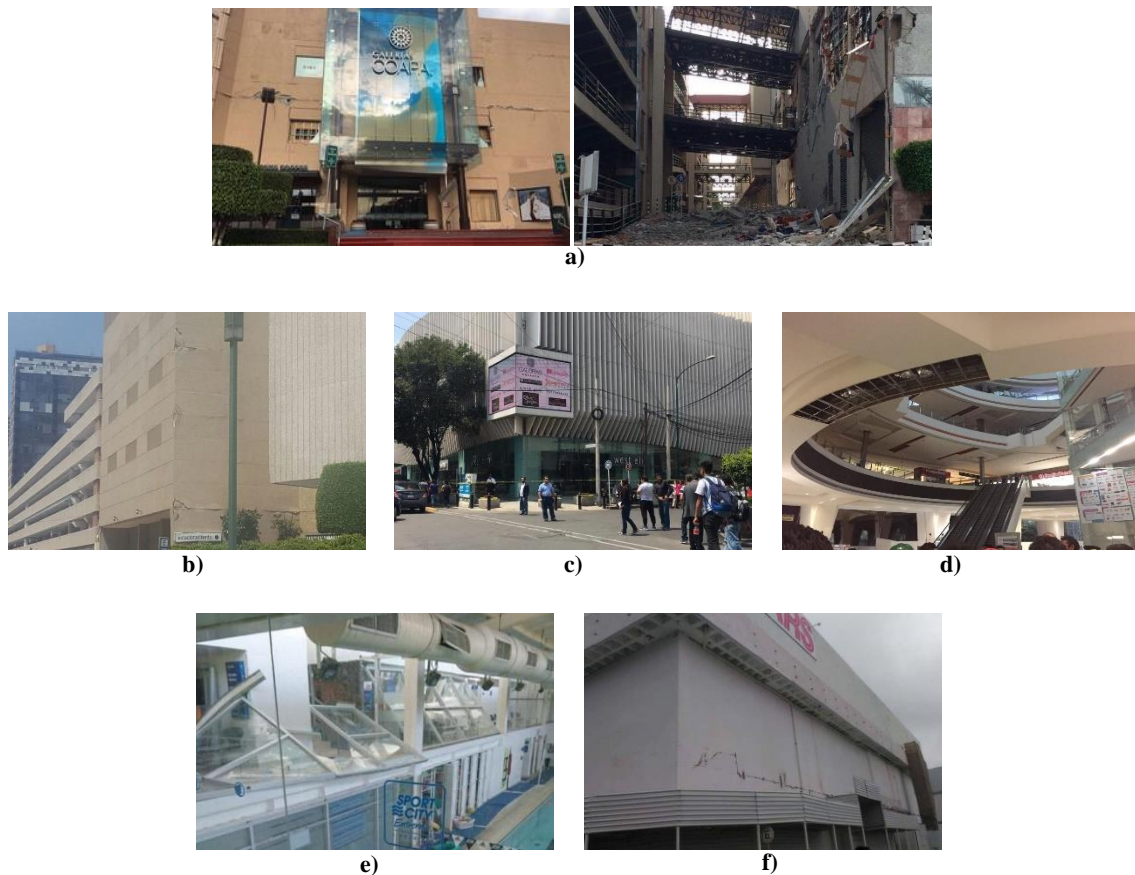


Figura 3.12 Tiendas departamentales y plazas comerciales de la CDMX que suspendieron sus actividades por daños en sus inmuebles: a) plaza Galerías Coapa; b) tienda departamental de Polanco; c) plaza Galerías Polanco; d) Fórum Buenavista; e) tiendas departamentales de Parque Lindavista; f) centro comercial Perisur. Fuente: Milenio

Existen investigaciones que se han enfocado en el análisis e interpretación de los daños y en la evaluación del comportamiento de sistemas estructurales de distintos edificios por el sismo en la frontera entre Puebla y Morelos ocurrido en 2017 (Buendía y Reinoso, 2019; Rodríguez, 2019; Tapia y García, 2019; Pujol y Rodríguez, 2019) e inclusive en la rehabilitación de las construcciones (Ruiz et al., 2020), sin embargo, no se dispone de un inventario de edificios en el que se relacionen los daños directos con el tiempo de ejecución de obras de reparación o reforzamiento, ni con el tiempo total en el que perdieron su funcionalidad. No obstante, tras este evento destructivo, se observó que los edificios dañados en los elementos estructurales o no estructurales quedaron inactivos durante todas las siguientes etapas o en la mayoría de estas:

- Obtención de recursos financieros por parte de los dueños o directivos.
- Evaluación de la seguridad del inmueble de acuerdo con la legislación vigente.
- Solicitud y elaboración de presupuestos del costo total de la rehabilitación (mano de obra y materiales).
- Selección definitiva del grado de intervención (reparación, reforzamiento, reestructuración, entre otros), de las técnicas de rehabilitación y de quienes llevaron a cabo los trabajos de campo y gabinete con base en la decisión del propietario del edificio o de las autoridades competentes y las recomendaciones de ingenieros o expertos en construcción.
- Elaboración del proyecto de rehabilitación con base en la normativa de construcción vigente (RCDF, 2017), incluyendo trabajos de campo adicionales a los efectuados en otros niveles de evaluación, cálculos estructurales, elaboración de planos y memorias de cálculo definitivas.
- Permisos gubernamentales.
- Construcción de la rehabilitación del inmueble.

3.3 MODELO DE TIEMPO DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO POR SISMO

Como consecuencia del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017, a menudo un edificio quedó inoperativo por un periodo determinado producto de diversas razones, lo cual propició un cierre del negocio. Cuando el inmueble estuvo nuevamente en condiciones de servicio, se procedió a la reapertura de la unidad económica, sin embargo, comúnmente a esta le tomó un tiempo volver a alcanzar el nivel de ganancias que tenía antes del siniestro. Por consiguiente, el tiempo total de interrupción de un negocio, t_{TIN} , puede determinarse con la Ecuación (3.1).

$$t_{TIN} = t_{TIE} + t_{RP} \quad (3.1)$$

donde t_{TIE} es el tiempo total inactivo de la edificación y t_{RP} es el tiempo de recuperación de la productividad del negocio.

La ecuación anterior es aplicable a toda clase de negocio que esté establecido en una edificación de cualquier tipo de sistema estructural y material constructivo, y se supone que la unidad económica no depende significativamente de otras empresas para su funcionamiento y que no tiene empresas que dependan de ella. En este capítulo no se aborda con un modelo el cálculo de t_{RP} , ya que no se dispone de información sobre la recuperación de los negocios de la Ciudad de México, por lo tanto, se considera que el t_{TIN} está definido únicamente por el t_{TIE} , tal como muchas aseguradoras lo asumen.

El modelo de tiempo total inactivo de la edificación se muestra en la Figura 3.13 y tiene como inicio la ocurrencia de un sismo. Después, se verifica en paralelo si se presenta una interrupción de negocio por Protocolos de seguridad iniciales (PSI), Suspensión de servicios públicos de suministro (SSPS) o Efectos de vecindario (EV) tras el evento destructivo. Si la línea de flujo se dirige a la respuesta negativa para cada decisión, entonces t_A , t_B , y t_C , que se definen respectivamente como los tiempos inactivos del edificio resultantes por PSI, SSPS y EV toman un valor de cero, de lo contrario, se leen estas variables. Enseguida se calcula t_D , definido como el valor máximo de los tiempos inactivos por PSI, SSPS y EV con la Ecuación (3.2).

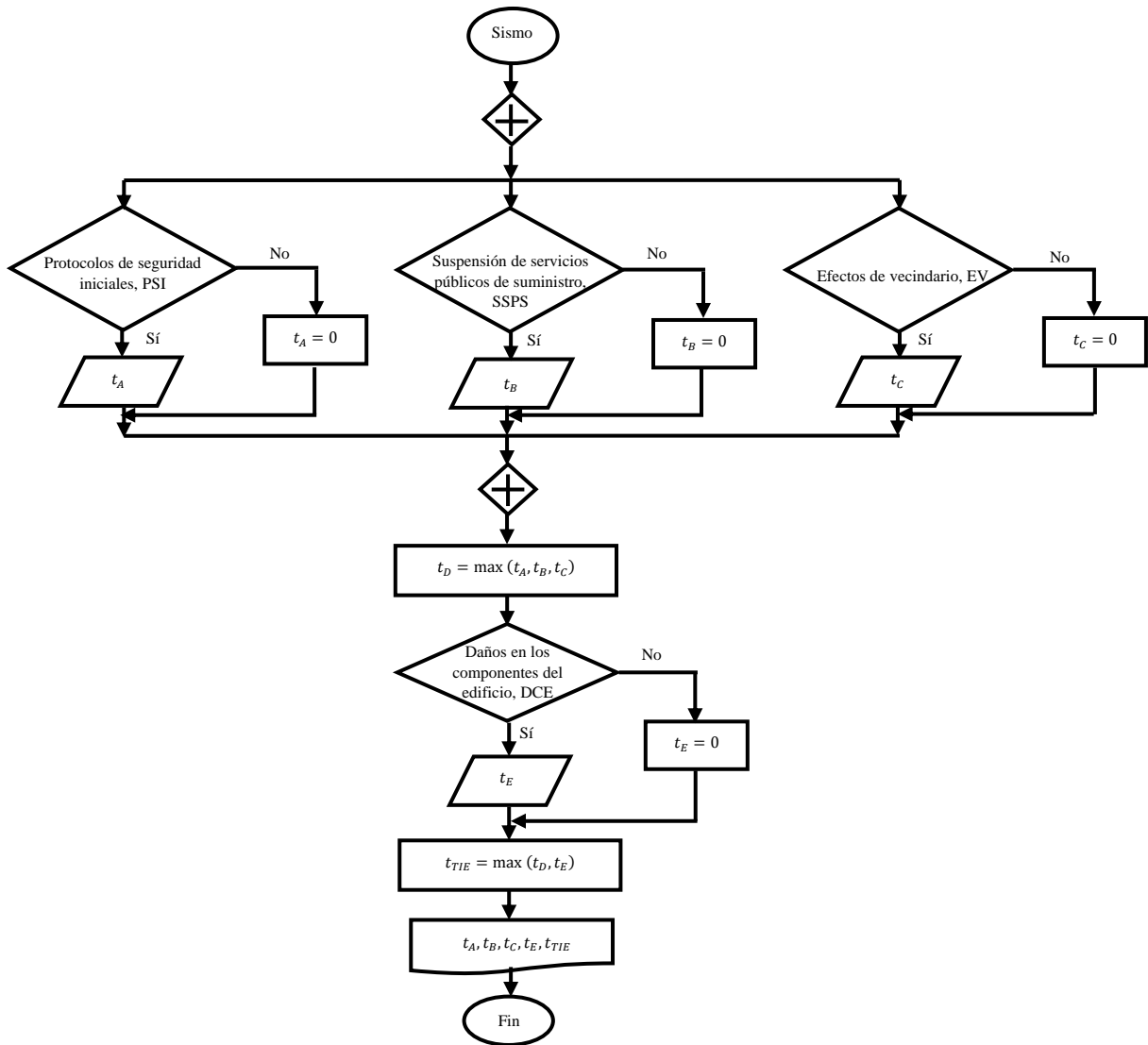


Figura 3.13 Modelo de tiempo total inactivo de la edificación

$$t_D = \max(t_A, t_B, t_C) \quad (3.2)$$

Si no hay una interrupción de negocio por Daños en los componentes del edificio (DCE), el tiempo inactivo por DCE, t_E , se hace cero, mientras que para el caso opuesto se lee dicha variable. Posteriormente, el tiempo total inactivo de la edificación se calcula con la Ecuación (3.3).

$$t_{TIE} = \max(t_D, t_E) \quad (3.3)$$

Dadas las incertidumbres sobre las variables del modelo mostrado en la Figura 3.13, se considera que t_A , t_B , t_C y t_E son tiempos medidos desde la ocurrencia del sismo hasta la finalización de los protocolos de seguridad iniciales, la restauración de los servicios públicos, el restablecimiento del vecindario y la rehabilitación de los componentes del edificio o la decisión del dueño para volver a operar ante daños que no pongan en peligro la seguridad de los ocupantes del edificio, respectivamente.

3.4 COMENTARIOS DEL CAPÍTULO 3

El sismo de Mw7.1 ocurrido el 19 de septiembre de 2017 ha sido uno de los más catastróficos en la historia de México, debido a que derivó grandes problemas sociales y económicos, entre ellos, afectaciones a las unidades económicas. Como se mostró en este capítulo, la paralización de las actividades empresariales no siempre se debió a los daños directos en el edificio, sino que, a los protocolos de seguridad iniciales, la suspensión de servicios públicos de suministro o los efectos de vecindario. Sin embargo, se reconoce que la mayoría de los tiempos de interrupción de los negocios reportados en este capítulo no se relacionan directamente con parámetros cuantificables de peligro sísmico y vulnerabilidad de las estructuras, normalmente empleados en Ingeniería Sísmica. No obstante, dado que no existe mucha información en la literatura sobre el tiempo y la razón de este cese a causa de sismos destructivos, se considera que este estudio puede servir al menos como un referente general. En futuras investigaciones al respecto, sugerimos a ingenieros estructurales relacionar tiempos de interrupción de negocios con índices de daño de edificios para distintas intensidades sísmicas.

Finalmente, recomendamos a los dueños o directivos de los negocios considerar los efectos sísmicos que pueden hacer que sus edificios pierdan su operatividad expuestos en este capítulo para poder estructurar de mejor manera los planes de continuidad y de contingencia de sus unidades económicas. Dentro de las acciones resilientes, se sugiere disponer de liquidez para la rehabilitación estructural o no estructural del edificio y otros activos tangibles, contratar un seguro de daños directos y un seguro para la interrupción del negocio, contar con opciones alternas para el suministro de servicios esenciales, tales como plantas de emergencia o reservorios de agua potable, además de tener el contacto de un Ingeniero Civil que ostente al menos el grado de Maestro en Ingeniería Estructural o que cuente con una certificación pertinente para realizar la evaluación de la seguridad del inmueble.

ANEXO C3

**TIEMPO DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN LA CIUDAD DE
MÉXICO POR DAÑOS DIRECTOS Y EFECTOS INDIRECTOS EN
EDIFICIOS A CAUSA DEL SISMO DEL 19S DE 2017**

En este anexo se presenta el artículo “Tiempo de interrupción de negocios en la Ciudad de México por daños directos y efectos indirectos en edificios a causa del sismo del 19S de 2017”, el cual se encuentra publicado en la revista llamada “Revista de Ingeniería Sísmica”.

Resumen

Después del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017 en México, una gran cantidad de negocios establecidos en la Ciudad de México dejó de operar temporalmente e incluso de forma definitiva. De acuerdo con lo observado tras este evento destructivo, en este trabajo se identifican las fuentes de interrupción del negocio: Protocolos de seguridad iniciales, Suspensión de servicios públicos de suministro, Efectos de vecindario y Daños en los componentes del edificio, y se propone un modelo para determinar el tiempo de interrupción de negocio, IN, con base en la inactividad de la edificación. Con la finalidad de tener valores de referencia para los datos de entrada, se documentan los tiempos de evaluación de edificios, restablecimiento de servicios públicos, demolición de edificios, entre otros aspectos relevantes para la CDMX. Finalmente, los conceptos se ejemplifican con un negocio formal hipotético establecido en una edificación de dos niveles de mampostería confinada y en los resultados se obtiene que habría una paralización total de las actividades empresariales por más de un mes debido a daños menores en la infraestructura de energía eléctrica y algunos daños estructurales en la planta alta. Además, se concluye que, aunque la interrupción de negocios depende de múltiples factores, la participación de los Ingenieros Estructuristas es trascendental para minimizar el tiempo de IN, especialmente en la evaluación de la seguridad de los edificios y la rehabilitación de las infraestructuras.

TIEMPO DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO POR DAÑOS DIRECTOS Y EFECTOS INDIRECTOS EN EDIFICIOS A CAUSA DEL SISMO DEL 19S DE 2017

David Ortiz Soto⁽¹⁾ y Eduardo Reinoso Angulo⁽¹⁾

RESUMEN

Después del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017 en México, una gran cantidad de negocios establecidos en la Ciudad de México dejó de operar temporalmente e incluso de forma definitiva. De acuerdo con lo observado tras este evento destructivo, en este trabajo se identifican las fuentes de interrupción del negocio: Protocolos de seguridad iniciales, Suspensión de servicios públicos de suministro, Efectos de vecindario y Daños en los componentes del edificio, y se propone un modelo para determinar el tiempo de interrupción de negocio, IN, con base en la inactividad de la edificación. Con la finalidad de tener valores de referencia para los datos de entrada, se documentan los tiempos de evaluación de edificios, restablecimiento de servicios públicos, demolición de edificios, entre otros aspectos relevantes para la CDMX. Finalmente, los conceptos se ejemplifican con un negocio formal hipotético establecido en una edificación de dos niveles de mampostería confinada y en los resultados se obtiene que habría una paralización total de las actividades empresariales por más de un mes debido a daños menores en la infraestructura de energía eléctrica y algunos daños estructurales en la planta alta. Además, se concluye que, aunque la interrupción de negocios depende de múltiples factores, la participación de los Ingenieros Estructuristas es trascendental para minimizar el tiempo de IN, especialmente en la evaluación de la seguridad de los edificios y la rehabilitación de las infraestructuras.

Palabras clave: interrupción de negocios; pérdida por sismo; tiempo inactivo del edificio; tiempo de reparación estructural

BUSINESS INTERRUPTION TIME IN MEXICO CITY DUE TO DIRECT DAMAGES AND INDIRECT EFFECTS IN BUILDINGS DUE TO THE EARTHQUAKE ON SEPTEMBER 19, 2017

ABSTRACT

After the earthquake on September 19, 2017 in Mexico, many businesses established in Mexico City stopped operating temporarily and even definitely. According to what was observed after this destructive event, in this work the sources of business interruption are identified: Initial security

Artículo recibido el 3 de abril de 2019 y aprobado para su publicación el 30 de diciembre de 2020. Se aceptarán comentarios y/o discusiones hasta cinco meses después de su publicación.

⁽¹⁾ Instituto de Ingeniería, UNAM, Av. Universidad 3000, Col. Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 Ciudad de México, e-mail: DOrtizS@iingen.unam.mx; ereinosoa@iingen.unam.mx

[DOI: 10.18867/ris.104.538](https://doi.org/10.18867/ris.104.538)

protocols, Suspension of public supply services, Neighborhood effects and Damages in the components of the building, and a model is proposed to determine the business interruption (BI) time, considering the inactivity of the building. In order to have reference values for the input data, the times of evaluation of buildings, restoration of public services, demolition of buildings, among other relevant aspects for Mexico City are documented. Finally, the concepts are exemplified with a hypothetical formal business established in a building with two levels of confined masonry and in the results it will be obtained that there would be a total stoppage of business activities for more than a month due to minor damages in the electric power infrastructure and some structural damage on the ground floor. In addition, it is concluded that, although business interruption depends on multiple factors, the participation of Structural Engineers is essential to minimize BI time, especially in the evaluation of the safety of buildings and the rehabilitation of infrastructures.

Keywords: business interruption; earthquake loss; downtime of building occupancy; structural repair time

INTRODUCCIÓN

Los sismos generan grandes pérdidas económicas tanto por los daños directos como por el cierre de los negocios. Por ello, la reanudación de las operaciones normales de los negocios lo más pronto posible es fundamental para minimizar pérdidas e inclusive evitar el fracaso de estos, así como para lograr la recuperación social y económica de las zonas afectadas (Alesch *et al.*, 2009).

Los sismos de septiembre de 2017 en México propiciaron una paralización temporal o definitiva de muchos negocios de la Ciudad de México y de otros estados de la República debido a daños directos en los inmuebles. Quedó evidenciado que puede pasar mucho tiempo sin que se comience la rehabilitación de los edificios; por ejemplo, en Juchitán de Zaragoza, Oaxaca se pueden observar varios edificios dañados a casi 500 días después de estos eventos catastróficos, entre los que destacan la catedral principal, el palacio municipal y el mercado municipal, donde los negocios que estaban establecidos en los últimos dos inmuebles citados se vieron forzados a reubicarse en los alrededores, sin embargo, estos sufrieron notables pérdidas por la disminución de los clientes pese a la relocalización. Asimismo, se registró que diversas unidades económicas tuvieron que suspender sus actividades aun cuando sus edificios resultaron sin perjuicios directos. Por ello, es una práctica común en algunos sectores que los dueños de los negocios tengan contratado un seguro de daños directos para que la rehabilitación estructural y arquitectónica del edificio o de los contenidos sea lo más pronto posible y, además, un seguro para la pérdida por interrupción en caso de que ocurra algún evento muy fuerte.

La mayoría de los modelos que se han propuesto para estimar la pérdida económica probable por daños para diversas amenazas, principalmente para sismo, se han enfocado en el costo de reparación de la estructura (Scholl, 1979; ATC-13, 1985; Ordaz, *et al.*, 2000; Haselton, *et al.*, 2007 y 2011; Ramírez *et al.*, 2012). Existen softwares que estiman la pérdida a partir del cálculo formal del riesgo sísmico de edificios e infraestructura como CAPRA (ERN, 1996) y HAZUS (FEMA, 2013), sin embargo, ambos consideran la interrupción de negocios de manera muy aproximada.

El estudio de pérdidas por interrupción de negocio es relativamente reciente. Estas pérdidas muchas veces son mayores con respecto a las pérdidas por el daño a la propiedad (Tierney, 1997), además de que son más difíciles de estimar puesto que dependen de muchos factores (NRC, 1999), por lo que la mayoría de los seguros sólo las cubren sin hacer cálculos formales. En una investigación en la que se abordaron problemas conceptuales y se presentaron refinamientos en la metodología de pérdidas por interrupción de negocios para amenazas naturales en general, se estimaron las pérdidas por interrupción por los cortes de

energía eléctrica como consecuencia del sismo de Northridge (Rose y Lim, 2002). Por otra parte, en un estudio sobre los impactos del sismo de Nisqually en el sector empresarial, se llevaron a cabo entrevistas con propietarios y gerentes de 107 empresas y se demostró que la recuperación del negocio no sólo está en función de las características de este, sino que también depende de las condiciones del vecindario (Chang y Falit-Baiamonte, 2002). Además, se han estudiado los impactos socioeconómicos que inducen la interrupción de líneas de vida tras los desastres naturales (Chang, 2016) y se han realizado análisis costo-beneficio para diversas acciones de resiliencia con la finalidad de reducir la interrupción de negocio (Rose, 2017).

Se tienen pocos modelos de pérdida por interrupción considerando al negocio individual como unidad de análisis. Se ha propuesto una metodología para estimar las pérdidas por interrupción por huracanes que comúnmente cubren las pólizas de seguro contemplando diversos componentes para el tiempo de inactividad y se ha demostrado que el riesgo de interrupción del negocio puede ser significativamente mayor cuando este depende de otros negocios con respecto a cuando no tiene negocios dependientes (Kumar y Guin, 2009). Asimismo, se ha desarrollado un modelo para estimar la pérdida económica por la interrupción en distintos tipos de negocios para los primeros días de haber ocurrido un sismo considerando varias fuentes de interrupción individual y simultáneamente, obteniéndose como resultados que los cortes de energía eléctrica y agua potable pueden causar potencialmente una mayor interrupción de negocio que los daños en el edificio (Chang y Lotze, 2014). No obstante, en ambos modelos no se describen a detalle las fuentes de interrupción ni se identifican las subfuentes derivadas de estas, ni tampoco se presenta un modelo matemático para determinar el tiempo total inactivo del edificio con base en la combinación de los distintos tiempos por las subfuentes con datos de entrada para estas. Otra de las limitantes es que en estas investigaciones no se abordan casos reales, ya que el modelo de Kumar y Guin es calibrado con un negocio hipotético situado en el condado de Hillsborough en Florida con base en la simulación de varios huracanes, mientras que el modelo de Chang y Lotze se aplica para un escenario producido por un sismo hipotético de M7.3 con epicentro en el estrecho de Georgia para el norte de Vancouver, Canadá.

Se tiene poca información sobre pérdida por interrupción de negocios. El Centro de Investigación de Desastres en Delaware ha realizado estudios para obtener datos sobre el impacto a corto y largo plazo en las empresas por las catástrofes (Webb *et al.*, 2002). Los datos de pérdida por interrupción de negocio cubiertas por los seguros en catástrofes históricas sólo están disponibles para las compañías de seguros y estas se limitan a colocar a disposición del público en general guías para el seguro de interrupción de negocio y reclamaciones, como la guía de London Business Interruption Association, LBIA. Las empresas que sufren pérdida por interrupción por algún siniestro también se reservan esa información. Cuando los organismos públicos dan a conocer la cifra de pérdida total a nivel nacional luego de un desastre natural, esta no considera la pérdida por interrupción de negocios. Además, los organismos normalmente sólo publican datos sobre el número de negocios cerrados después de un sismo sin especificar las razones que lo llevaron a ese estado ni dar cifras sobre la pérdida económica en estos; por ejemplo, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía informó que, de 2.041 millones de negocios, el 39.3% suspendieron actividades en algún momento, de los cuales, 43.2% fue por un día hábil, 23.4% por dos días, 10.8% por tres días, y al menos 22.6% por más de tres días a causa de los sismos de septiembre de 2017 en México (INEGI, 2017).

La presente investigación tiene como objetivo identificar las razones por las que los negocios en la Ciudad de México cerraron tras el sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017 (M7.1) con la finalidad de que esto sea tomado en cuenta por los dueños de las unidades económicas para mejorar sus planes de continuidad y contingencia, así como en los estudios sobre el riesgo sísmico, especialmente en la elaboración de modelos para estimar de manera más precisa la pérdida por interrupción de negocio, IN. Además, se propone un modelo para determinar el tiempo de IN y se proporcionan valores de referencia para los datos de entrada de cada subfuente de interrupción para la Ciudad de México de acuerdo con información obtenida

de distintos medios de comunicación tras el sismo del 19S de 2017. Finalmente, los conceptos se aplican a un negocio formal hipotético de la CDMX establecido en una edificación de mampostería confinada para determinar el tiempo inactivo de esta debido a un sismo hipotético, donde el tiempo de reparación estructural se determina a través de rendimientos obtenidos por medio de entrevistas a expertos en construcción.

CLASIFICACIÓN DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO

La interrupción de negocio, IN, se clasifica en definitiva y temporal, y está en función de diversos factores que se abordan a continuación.

Interrupción definitiva de negocio

Un estudio que contempló a más de 1400 empresas en todo el mundo demostró que una de las mayores preocupaciones de los directivos es la interrupción de negocio debido a que existen diversas razones por las que un negocio puede fracasar tras un siniestro (Ishii, 2016). Un caso evidente es cuando la edificación colapsa totalmente tras un sismo y la pérdida es total (figura 1). Por otra parte, un negocio puede verse forzado a un cierre definitivo sin antes poder reanudar las actividades empresariales debido a:

- Acumulación de pérdidas por la ausencia de ventas, el pago de nómina a trabajadores y en ocasiones la compensación de daños a terceros.
- Demolición del edificio por daños severos o colapso parcial.
- Elevada pérdida total por los daños en los activos tangibles: elementos estructurales, elementos no estructurales o contenidos del edificio (mobiliario, equipo, stock, entre otros).



A)

B)

Figura 1. Ejemplo de pérdida total: Edificio de San Luis Potosí y Medellín en la Colonia Roma: A) Antes del sismo del 19S de 2017 y B) Colapso tras el sismo del 19S de 2017. Fuente: Ana Lagos (Usuaría de Twitter) y Google Maps

Una vez que los negocios reinician las actividades en el inmueble, algunos de ellos no estarán exentos de poder experimentar otros trastornos en especial tras una prolongada interrupción que impactarán en su recuperación (Fernández, 2016), tales como:

- Disminución en las ventas que conllevan a pérdida en la posición de mercado.
- Pérdida de posicionamiento en el mercado asociada a la pérdida de confianza de los clientes o consumidores.
- Pérdida de confianza de los inversionistas.

La recuperación del negocio está ligada a las afectaciones en la zona; por ejemplo, en zonas gravemente afectadas las ganancias disminuyen de forma más notable en ciertos tipos de negocios como los hoteles, aun cuando la propiedad no resulte dañada físicamente. Los daños en las viviendas de los clientes que generan que una de sus principales preocupaciones sea la rehabilitación de su propiedad, o bien, la migración, son otras de las razones por las que los negocios dedicados a la venta de determinados productos sufren una disminución en la cuota de mercado. En consecuencia, se tiene también la probabilidad de que un negocio nunca se pueda recuperar y fracase tiempo después de su reapertura.

Interrupción temporal de negocio

La interrupción temporal de negocio puede ser total cuando hay una paralización absoluta de las actividades por la inoperatividad del edificio en un periodo determinado o mientras se efectúa la reubicación temporal o definitiva del negocio, o parcial cuando pese a desarrollarse las operaciones del negocio, este no se encuentra en condiciones normales, ya sea cuando se opera por medio del Home Office o por la recuperación de la productividad tras la reanudación de las actividades en el edificio. Estas posibilidades pueden combinarse tal como se muestra en la tabla 1; el modelo que se propone en este documento se enfoca en la combinación 4, dejándose para un futuro refinamiento contemplar las opciones de Home Office y las relocalizaciones del negocio.

Tabla 1. Combinaciones de interrupción temporal de negocio por daños por sismo

No. de combinación	Total			Parcial	
	Inoperatividad del edificio	Reubicación temporal	Reubicación definitiva	Home Office	Recuperación de la productividad
1	X	X			X
2	X		X		X
3	X			X	X
4	X				X

En la tabla 2 se muestran algunos ejemplos de negocios situados en la CDMX que experimentaron una interrupción temporal en sus operaciones tras el sismo del 19S de 2017 con M 7.1. La información fue proporcionada por los dueños o empleados de las unidades económicas y se obtuvo a partir de diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos; específicamente, en algunos casos se aplicaron entrevistas estructuradas no presenciales, mientras que para otros casos se retomó información anunciada públicamente y difundida por distintos medios de comunicación. Estos negocios cerraron sin que el edificio presentara daños, a excepción del hotel, y aunque esto se debió a varias razones, en la tabla 2 se indica únicamente la fuente predominante.

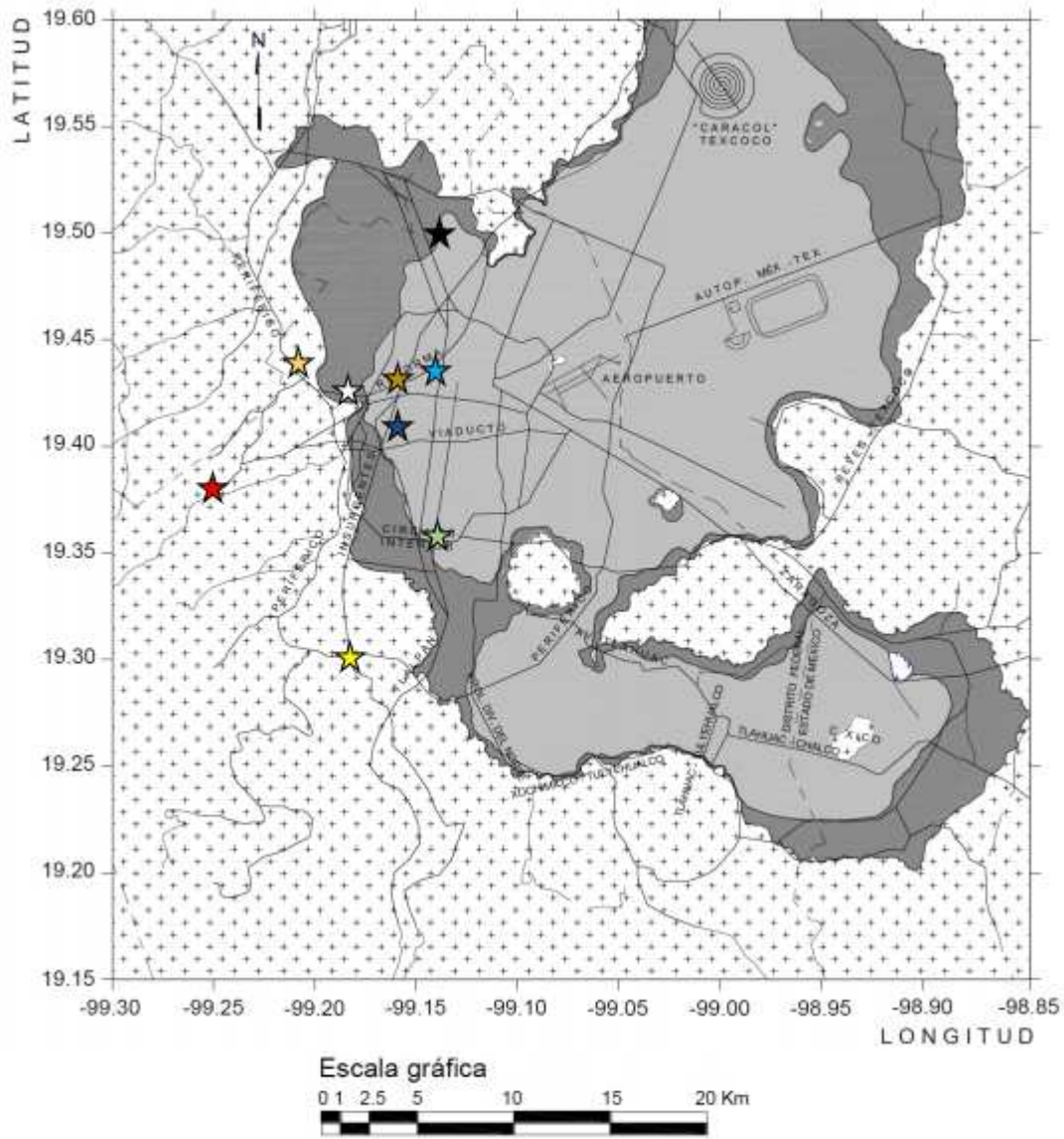
Obsérvese que, de los nueve negocios, el negocio 1 fue el que mayor tiempo presentó una paralización de actividades con 30 días, ya que por medidas de seguridad los directivos tuvieron que esperar 10 días

hasta la culminación de labores de rescate de víctimas humanas y 20 días más hasta la finalización de la remoción de escombros tras el colapso del edificio vecino llamado Medellín para poder efectuar la reapertura del negocio, por el contrario, el negocio 3 estuvo cerrado únicamente dos días, ya que en el primer día hubo una suspensión de actividades por el acontecimiento del sismo en horario laboral y al día siguiente se efectuó la inspección post-sísmica del edificio. Por otra parte, el negocio 5 tuvo una interrupción total de 22 días principalmente debido a que el edificio sufrió daños menores y requirió de reparaciones, en tanto, el negocio 8 pudo reabrir tras doce días una vez que se efectuó la evaluación de la seguridad del edificio durante la declaratoria de la emergencia.

Tabla 2. Ejemplos de negocios en la CDMX que cerraron temporalmente por el sismo del 19S de 2017

Núm. de negocio	Descripción	Dirección	Razón predominante de cierre del negocio	Tiempo inactivo del edificio (d)
1	Sociedad Civil dedicada a la vinculación y administración de programas de becarios	San Luis Potosí 199, Col. Roma Norte, Cuauhtémoc, C.P. 06700, Ciudad de México	Colapso de un edificio vecino en el que hubo víctimas humanas	30
2	Oficinas de empresa dedicada a la fabricación y comercialización de tableros de madera (alta densidad, enchapados, MDF, etc.)	Jaime Balmes No. 8, Col. Polanco, Miguel Hidalgo. C.P. 11510, Ciudad de México	Complicaciones en las vías de acceso al inmueble	4
3	Empresa financiera dedicada a otorgar créditos de consumo.	Periférico Sur 5000, Insurgentes Cuicuilco, Coyoacán, C.P. 04369, Ciudad de México	Inspección post-sísmica del edificio	2
4	Institución educativa en la que se imparte Ingeniería Civil	Juan de Dios Bátis S/N, Adolfo López Mateos, Gustavo A. Madero, C.P. 07738, Ciudad de México	Inspección post-sísmica del edificio	5
5	Hotel	Calz. de Tlalpan 1507, Portales Nte, Benito Juárez, C.P. 03300, Ciudad de México	Daños menores en el edificio	22
6	Cine	Avenida prolongación Paseo de la Reforma 400, Santa Fe, Álvaro Obregón, C.P. 01210 Ciudad de México	Inspección post-sísmica del edificio	6
7	Museo público dedicado a presentar exposiciones de arte contemporáneo internacional	Av. Paseo de la Reforma 51, Polanco, Bosque de Chapultepec I Secc, Miguel Hidalgo, C.P. 11580, Ciudad de México	Evaluación de la seguridad estructural del edificio durante la declaratoria de emergencia	12
8	Museo cultural para exhibir objetos artísticos	Av. Juárez S/N, Centro Histórico de la Ciudad de México, Cuauhtémoc, C.P. 06050, Ciudad de México	Evaluación de la seguridad estructural del edificio durante la declaratoria de emergencia	12
9	Teatro	Calz. Manuel Villalongín 15, Col. Renacimiento, Cuauhtémoc, C.P. 06500, Ciudad de México	Evaluación de la seguridad estructural del edificio durante la declaratoria de emergencia	11

En la figura 2 se muestra la ubicación de los nueve negocios en el mapa de zonificación geotécnica de la Ciudad de México del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF, 2017). Puede observarse que el negocio 7 pertenece a la Zona II (Transición), mientras que, por ejemplo, los negocios 1, 6 y 8 se encuentran situados en la Zona III (Lacustre) y los negocios 2 y 3 en la Zona I (Lomas). Por otra parte, en la figura 3 se muestra el edificio en el que se encuentra establecida cada unidad económica. No se dispone de información acerca de que si los edificios han sufrido daños por sismos previos o sobre si han sido rehabilitados. Además, en la mayoría de los casos tampoco se conoce el año en el que fueron construidos. Se tiene un registro de que, por ejemplo, el negocio 7 fue inaugurado el 29 de mayo de 1981, en tanto, el Palacio de Bellas Artes, inmueble que alberga el negocio 8, fue concluido e inaugurado el 29 de noviembre de 1934.



ISSN-e 2395-8251

Simbología

- | | | | |
|-------------|-------------|-------------|------------|
| ★ Negocio 1 | ★ Negocio 4 | ☆ Negocio 7 | ⊕ Zona I |
| ★ Negocio 2 | ★ Negocio 5 | ★ Negocio 8 | ■ Zona II |
| ★ Negocio 3 | ★ Negocio 6 | ★ Negocio 9 | ■ Zona III |

Figura 2. Ubicación de los negocios mostrados en la tabla 2 en el mapa de zonificación geotécnica de la Ciudad de México. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal del 2017



A)



B)



C)



D)



E)



F)



G)



H)



I)

Figura 3. Edificios en los que se encuentran establecidos los negocios mostrados en la tabla 2:
A) Negocio 1, B) Negocio 2, C) Negocio 3, D) Negocio 4, E) Negocio 5, F) Negocio 6,
G) Negocio 7, H) Negocio 8, I) Negocio 9. Fuente: Google

Durante el tiempo inactivo del edificio, dependiendo del tipo de negocio, este sufre una ausencia o minoración de ingresos, por ejemplo, por la suspensión de ventas, además de que puede seguir teniendo costos o gastos como los pagos de nómina a los trabajadores, de renta del inmueble o del servicio de energía eléctrica, por consiguiente, no sólo puede dejar de tener ganancias, sino que además puede ver reflejada una pérdida en el reporte financiero. Incluso, tras la reapertura del negocio los ingresos obtenidos pueden seguir siendo menores a los gastos incurridos por un periodo determinado, por ejemplo, por la disminución de las ventas debido a una pérdida en la posición o el posicionamiento de mercado, o a causa de un aumento en los gastos operativos (comercialización, alquiler, administración, entre otros). Debido a que comúnmente no se tiene acceso a información explícita sobre ingresos y gastos de los negocios, para fines de esta investigación se emplea la definición estándar de pérdida contable, por medio de la ecuación 1 y se asume que esta es estimada por el respectivo personal con base en un estado de resultados del negocio.

$$P = I - G \leftrightarrow G > I \quad (1)$$

donde I son los ingresos obtenidos por el negocio y G son los gastos incurridos, ambos en el tiempo de interrupción del negocio. Si en el estado de resultados los ingresos son mayores a los gastos, pero el lucro sigue siendo menor al que se tendría si el sismo no hubiera ocurrido según los estados financieros, se tiene que el negocio experimenta una disminución en las utilidades. Esto ocurre en ocasiones principalmente durante el tiempo de recuperación del negocio.

MODELO DE TIEMPO DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO POR SISMO

Como consecuencia de la ocurrencia del sismo del 19S de 2017, a menudo un edificio quedó inoperativo por un tiempo determinado producto de diversas razones, lo cual propició un cierre del negocio. Cuando el inmueble estuvo nuevamente en condiciones de servicio, se procedió a la reapertura de la unidad económica, sin embargo, comúnmente a esta le tomó un tiempo recuperar la productividad que tenía antes del siniestro. Por consiguiente, el tiempo total de interrupción de un negocio, t_{TIN} , puede determinarse con la ecuación 2.

$$t_{TIN} = t_{TIE} + t_{RP} \quad (2)$$

donde t_{TIE} es el tiempo total inactivo de la edificación y t_{RP} es el tiempo de recuperación de la productividad del negocio.

La ecuación 2 puede aplicarse a toda clase de negocio que esté establecido en una edificación de cualquier tipo de sistema estructural y material constructivo, y se supone que la unidad económica no depende significativamente de otros negocios para su funcionamiento y que no tiene negocios que dependan de ella. En este trabajo no se abordará con un modelo el cálculo de t_{RP} , ya que no se dispone de información sobre la recuperación de los negocios, por lo tanto, se considerará que el t_{TIN} está definido únicamente por el t_{TIE} , tal como muchas aseguradoras lo asumen.

En la tabla 3 se muestran las fuentes de interrupción derivadas del sismo del 19S de 2017 que se contemplan en el modelo de IN (figura 4), clasificadas en cuatro categorías principales: *Protocolos de seguridad iniciales* (PSI), *Suspensión de servicios públicos de suministro* (SSPS), *Efectos de vecindario* (EV) y *Daños en los componentes del edificio* (DCE), donde las primeras tres se consideran como efectos indirectos en el edificio. Cada una de ellas se divide en varias subfuentes de interrupción que

individualmente pueden generar un tiempo de inactividad en el edificio del negocio, sin embargo, el t_{TIE} es resultado de la combinación de los distintos tiempos, lo cual se aborda enseguida.

El modelo de tiempo total inactivo de la edificación se muestra en la figura 4 y tiene como inicio la ocurrencia de un sismo. Se verifica en paralelo si se presenta una interrupción de negocio por *Protocolos de seguridad iniciales* (PSI), *Suspensión de servicios públicos de suministro* (SSPS) o *Efectos de vecindario* (EV) tras el sismo. Si la línea de flujo se dirige a la respuesta negativa para cada decisión, entonces t_A , t_B , y t_C , que se definen respectivamente como los tiempos inactivos del edificio resultantes por PSI, SSPS y EV toman un valor de cero, de lo contrario, se leen las variables t_A , t_B y t_C .

Enseguida se calcula t_D , definido como el valor máximo de los tiempos inactivos por PSI, SSPS y EV con la ecuación,

$$t_D = \max(t_A, t_B, t_C) \quad (3)$$

Si no hay una interrupción de negocio por *Daños en los componentes del edificio* (DCE), el tiempo inactivo por DCE, t_E , se hace cero, mientras que para el caso opuesto se lee dicha variable. Posteriormente el tiempo total inactivo de la edificación se calcula con la ecuación,

$$t_{TIE} = \max(t_D, t_E) \quad (4)$$

Tabla 3. Fuentes de interrupción de negocio observadas tras el sismo del 19S de 2017

Fuente de interrupción de negocio por sismo		Subfuente de interrupción
Efectos indirectos en el edificio	Protocolos de seguridad iniciales, PSI	Ocurrencia del sismo en horario laboral, OSHL
		Inspección post-sísmica del edificio, IPE
	Suspensión de servicios públicos de suministro, SSPS	Suspensión del suministro de energía eléctrica, SSEE
		Suspensión del suministro de agua potable, SSAP
		Suspensión del suministro de gas, SSG
		Suspensión de servicios de telecomunicación (SST)
Efectos de vecindario, EV	Complicaciones en vías de acceso al inmueble, CVAI	
	Graves afectaciones en la zona, GAZ	
	Daños severos o colapso parcial de edificio vecino, DSCPEV	
	Colapso total de edificio vecino, CTEV	
Daños directos en el edificio	Daños en los componentes del edificio, DCE	Daño en elementos estructurales, DEE
		Daño en elementos no estructurales, DENE
		Daño en contenidos, DC

Debido a que todos los negocios presentan un nivel de resistencia a la interrupción, los dueños o directivos podrían comenzar con la planeación para la rehabilitación de daños a la propiedad sin esperar a que los servicios públicos de suministro sean restaurados por los organismos competentes o a que las

condiciones de vecindario se mejoren. Dadas las incertidumbres sobre las variables del modelo mostrado en la figura 1, se considera que t_A , t_B , t_C y t_E son tiempos medidos desde la ocurrencia del sismo hasta la finalización de los protocolos de seguridad iniciales, la restauración de los servicios públicos, el restablecimiento del vecindario y la rehabilitación de los componentes del edificio o la decisión del dueño para volver a operar ante daños que no pongan en peligro la seguridad de los ocupantes del edificio, respectivamente.

El tiempo inactivo del edificio por cada fuente de interrupción se puede calcular de forma independiente con los procesos 1, 2, 3 y 4 que se describen a continuación. Para tener valores de referencia para los datos de entrada para el tiempo de inactividad que genera cada subfuente, se ha recabado información de distintos medios de comunicación con base en lo expuesto por Ingenieros Civiles, empresas proveedoras de servicios públicos, autoridades gubernamentales, entre otros.

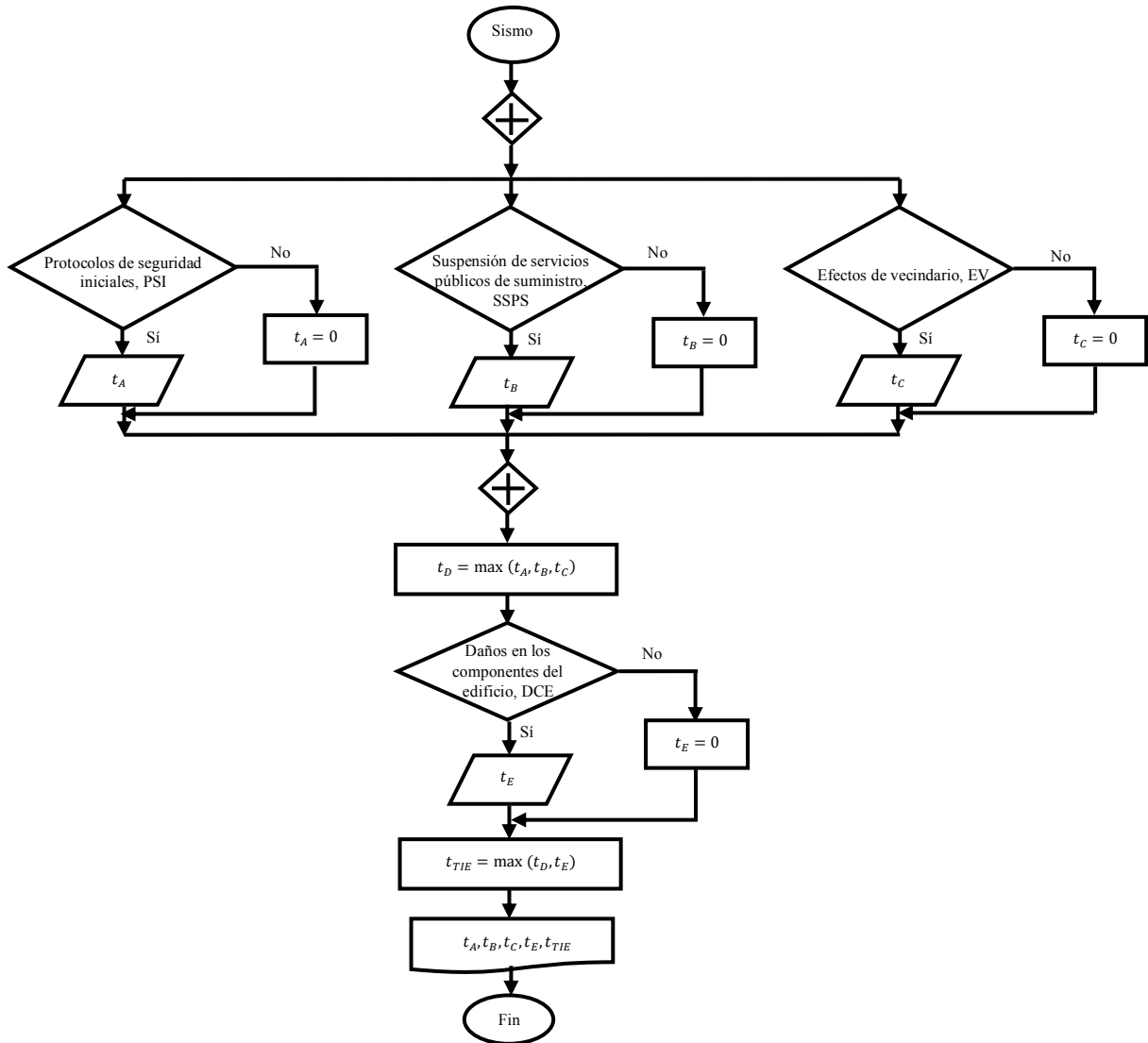


Figura 4. Modelo de tiempo total inactivo de la edificación

Proceso 1: Cálculo del tiempo inactivo del edificio por Protocolos de seguridad iniciales, t_A

El proceso 1 se muestra en la figura 5. El edificio puede quedar inoperativo por la *Ocurrencia del sismo en horario laboral (OSHL)*, así como por la *Inspección post-sísmica del edificio (IPE)*, (Gama et al., 2012). Los tiempos de inactividad por las subfuentes OSHL y IPE, t_1 y t_2 se combinan dando como resultado el tiempo inactivo del edificio por protocolos de seguridad iniciales, t_A .

$$t_A = \max(t_1, t_2) \quad (5)$$

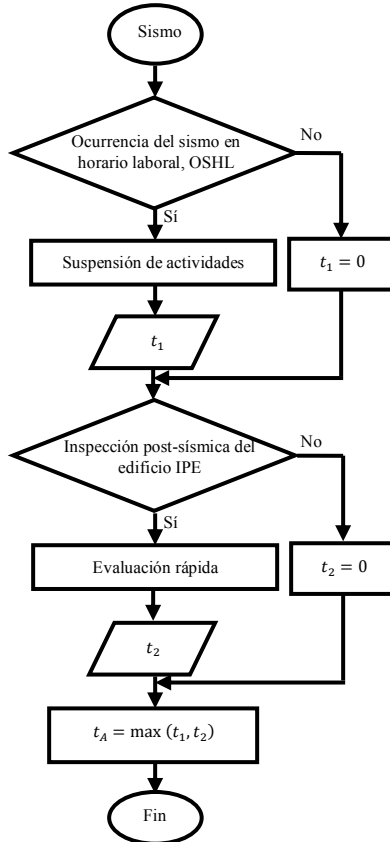


Figura 5. Diagrama de flujo del “Proceso 1: Cálculo del tiempo inactivo del edificio por Protocolos de seguridad iniciales, t_A ”

El sismo del 19S de 2017 ocurrió un martes a las 13:14:40 horas (hora del centro México) en la jornada de trabajo de la mayoría de los negocios. Se observó que una gran cantidad de unidades económicas suspendió sus operaciones por el resto del día tras la evacuación del edificio y hasta nuevo aviso, a excepción del aeropuerto y algunos hospitales de la CDMX que tuvieron una paralización de actividades únicamente por algunas horas, debido a que las revisiones indicaron que no existían daños directos ni efectos indirectos en los inmuebles correspondientes que ponían en riesgo la seguridad de los ocupantes.

La inspección post-sísmica del edificio se realizó para determinar únicamente si este podía ocuparse o no de inmediato con la finalidad de evitar víctimas humanas ante las futuras réplicas o para prevenir pérdidas materiales evaluándose el riesgo de colapso del edificio e identificando si es que había daños en los componentes del edificio. Fue común que para poder efectuar la reapertura de negocios formales se

requiriera de un dictamen tras una evaluación inicial del estado de la edificación en el que el inmueble se clasificó como “Edificación y área segura / Riesgo bajo”. Las etapas de la inspección post-sísmica fueron:

- Solicitud del servicio
- Trabajos de campo para la evaluación rápida del edificio
- Trabajos de gabinete para la elaboración y emisión de dictamen
- Colocación de dictamen o carteles en el edificio

En ocasiones se llevó a cabo una evaluación simplificada en lugar de una inspección post-sísmica, en la cual se clasificó el nivel de daño global de la estructura y se identificó si ocurrieron otros daños en elementos como vidrios, acabados, plafones, fachadas, bardas, pretilas, escaleras, elevadores e instalaciones. Esta evaluación también se efectuó en edificaciones que se consideraron con dudas tras la inspección post-sísmica.

Debido a los primeros niveles de evaluación de la seguridad de los edificios, que se realizaron de acuerdo con la legislación vigente, varios inmuebles quedaron inactivos hasta una semana dependiendo de los recursos del propietario para contratar a ingenieros o arquitectos, o de la disponibilidad de estos profesionistas (tabla 4), (ReNE, 2018). Por ejemplo, la empresa de entretenimiento Cinépolis informó que 25 de sus complejos cerraron alrededor de seis días. Sin embargo, hubo casos excepcionales en los que los dictámenes de seguridad estructural se emitieron hasta 15 días después de la catástrofe, tales como en escuelas públicas de la CDMX, prolongándose notablemente el tiempo de interrupción de los negocios e inclusive se registraron casos en los que estos cerraron por un periodo mayor a causa de que los dictámenes preliminares fueron imprecisos.

Tabla 4. Primeros niveles de evaluación estructural acorde con el sismo del 19S de 2017 en México

Nivel de Evaluación	Personal que efectuó la evaluación	Período de realización aproximado	Duración promedio de los trabajos de campo (h)
EDAN (Evaluación de daños y análisis de necesidades) o Inspección post-sísmica	Protección Civil (a nivel no profesional e inicialmente sólo en casos excepcionales), Ingenieros Civiles y Arquitectos locales, brigadas voluntarias conformadas por estos profesionistas que las dirigieron y estudiantes, y DRO y CSE (en casos especiales).	Durante el día del sismo y los tres días posteriores a la ocurrencia de este	[0.25,0.5]
Evaluación Simplificada	Equipos dirigidos por un Ingeniero Civil o Arquitecto, y DRO y CSE (en casos especiales).	Durante el día del sismo y la primer semana posterior a la ocurrencia de este	[0.5,1]

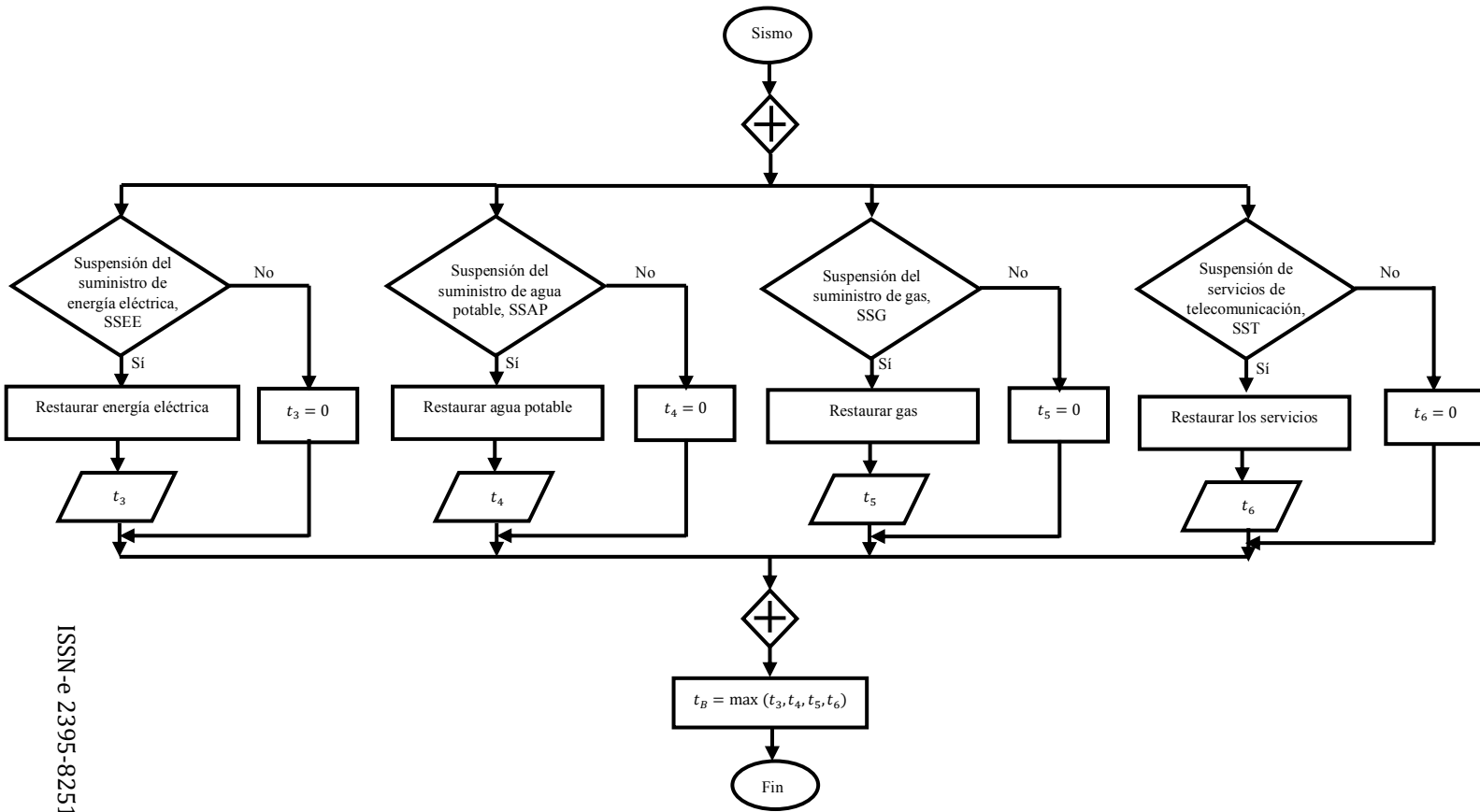
Proceso 2: Cálculo del tiempo inactivo del edificio por suspensión de servicios públicos, t_B

En el proceso 2 (figura 6), la interrupción de negocio puede darse por la *Suspensión del suministro de energía eléctrica (SSEE)*, la *Suspensión del suministro de agua potable (SSAP)*, la *Suspensión del suministro de gas (SSG)* y la *Suspensión de servicios de telecomunicación (SST)*.

Si las operaciones empresariales no pueden desarrollarse hasta que el edificio cuente nuevamente con energía eléctrica, agua potable, gas o servicios de telecomunicación, entonces el tiempo inactivo del edificio por la suspensión de servicios públicos de suministro, t_B , se calcula con la ecuación,

$$t_B = \max (t_3, t_4, t_5, t_6) \quad (6)$$

donde t_3 , t_4 , t_5 y t_6 son los tiempos de inactividad de forma respectiva por las subfuentes SSEE, SSAP, SSG y SST.



ISSN-e-2395-8251

Figura 6. Diagrama de flujo del “Proceso 2: Cálculo del tiempo inactivo del edificio por suspensión de servicios públicos, t_B ”

De acuerdo con la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el sismo del 19S de 2017 afectó a 4.8 millones de sus clientes, debido a que se produjeron algunos daños en el sistema de infraestructura de energía eléctrica, entre ellos caída de postes y cables, un estallamiento de transformadores en la Noria, CDMX y afectaciones considerables en la subestación de Yauatepec, Morelos (figura 7). Con corte a las 19:00 horas y a las 22:00 horas del día de la ocurrencia del sismo el servicio había sido restablecido de manera correspondiente para el 58 % y el 73 % del total de los afectados, mientras que para el día siguiente con corte a las 8:00 horas y a las 21:00 horas el servicio se había restaurado de forma respectiva para el 92 % y 95 %. Asimismo, por indicaciones de autoridades de Protección Civil, el servicio no fue reanudado en zonas de labores de rescate de víctimas humanas hasta la culminación de dichas actividades con la finalidad de evitar riesgos para los rescatistas y la población en general, las cuales tuvieron una duración aproximada de 15 días, siendo necesario el despliegue de 54 torres de iluminación para tales fines. Por otra parte, CFE desplazó 32 plantas de emergencia para hospitales e instalaciones de emergencia para que estos pudieran seguir operando inmediatamente después del sismo.

La falta de energía eléctrica produjo efectos negativos en una gran cantidad de negocios. Por ejemplo, la empresa Oxxo cerró el 30 % de sus sucursales en la capital de México por esta razón. Se registró que dos días después del sismo 267 tiendas de las 300 que habían dejado de operar efectuaron su reapertura.



Figura 7. Daños en la subestación Yautepec, Morelos ocasionados por el sismo del 19S de 2017. Fuente: Excélsior

De acuerdo con CONAGUA, el sismo de M. 7.1 dejó en total un saldo aproximado de seis millones de personas damnificadas por corte de agua, producto de que la infraestructura de agua potable sufrió varias afectaciones, entre ellas 1, 22 y 13 fugas en acueducto de forma respectiva en los ramales de Peñón-Texcoco, Tláhuac-Nezahualcóyotl y Mixquic-Santa Catarina, daños en los equipos electromecánicos de 11 pozos del primer ramal citado, así como la caída de 21 transformadores y 42 bombas quemadas en la Ciudad de México. Además, se documentó que las fugas ocasionadas por este evento se presentaron en todas las alcaldías, no obstante, el mayor número de daños se originó en el Sur-Oriente de la CDMX. Particularmente, en Iztacalco, Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco se registraron de manera correspondiente 3, 32, 15 y 11 fugas en la red primaria y 64, 291, 100 y 142 fugas en la red secundaria. Dentro de las detectadas por el SACMEX (figura 8), se observaron impactos en las caras adyacentes de los tubos de concreto que ocasionaron la ruptura en los puntos de unión de tramos de la tubería o separación entre ellos, rupturas en el cuerpo del tubo de tuberías de asbesto-cemento y separación entre tubos adyacentes que dañaron los empaques en las tuberías de acero (Ayala *et al.*, 2019).

Las reparaciones efectuadas por SACMEX se hicieron mediante la colocación de silletas o empaques. Por la importancia social y económica que tiene el suministro de agua potable, aproximadamente cuatro días después del sismo del 19S de 2017 algunas personas afectadas comenzaron a recibir el servicio de manera provisional básicamente a través de pipas enviadas por el gobierno, sin embargo, de acuerdo con los testimonios de los habitantes el agua recibida no fue suficiente para abastecer a todos los damnificados, lo cual generó un caos a tal grado de que las pipas comenzaron a ser secuestradas, por lo que se vieron forzados a contratar el servicio con empresas privadas. Incluso existe evidencia de que en varias partes de las zonas de Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco se tuvo una suspensión del suministro de hasta por más de 10 días. Por otra parte, a más de 10 meses del sismo la Comisión para la Reconstrucción de Ciudad de México reportó un avance del 40 % en la reparación de la infraestructura hidráulica de drenaje y agua potable, de modo que el servicio no se encontraba normalizado aún.

Con respecto a los servicios de telecomunicación, el día que aconteció el sismo las redes móviles de voz colapsaron por algunas horas, debido a que la mayoría de la población se comunicó por voz

principalmente con sus familiares para informarse entre sí sobre el estado de salud mental y físico en el que se encontraban y para conocer si sus propiedades habían presentado afectaciones, pese a que se recomendó que esto se efectuará a través del envío de mensajes de texto o con aplicaciones de chat. Por el contrario, no se registró un colapso de las redes móviles de datos.



Figura 8. Fugas en red primaria de la Ciudad de México derivadas del sismo del 19S de 2017: A) Tubería de asbesto-cemento de 48 in ubicada en Tláhuac y B) Tubería de acero de 30 in situada en Xochimilco.

Fuente: SACMEX. Tomado de: Ayala *et al.*, 2019

Por otra parte, el gobierno de la CDMX reportó que durante los primeros tres días tras el sismo se habían controlado más de mil fugas de gas, las cuales algunas ocasionaron explosiones e incendios. Asimismo, la empresa Gas Natural Fenosa informó que su red de distribución no experimentó daños en la infraestructura, pero que optó por suspender temporalmente el suministro del servicio en los edificios que resultaron dañados y estaban conectados a la red de gas con la finalidad de garantizar la seguridad de los usuarios y de la población en general. En general, se sugirió a los habitantes cerrar la llave del gas el día del sismo para evitar siniestros.

Proceso 3: Cálculo del tiempo inactivo del edificio por efectos de vecindario, t_c

En la figura 9 se describe el proceso 3. Como se observa, los efectos de vecindario tienen un gran impacto en la interrupción del negocio debido a que a menudo la reanudación de las actividades empresariales está condicionada por los daños en edificios vecinos y en general por las afectaciones en la zona de ubicación de este dependiendo de las decisiones tomadas por dueños o directivos y las órdenes del gobierno y de la autoridad civil.

Los tiempos de inactividad por las subfuentes correspondientes al *Colapso total de un edificio vecino* (CTEV), t_9 , *Daños severos o colapso parcial de un edificio vecino* (DSCPEV), t_{12} , *Complicaciones en las vías de acceso al inmueble* (CVAI), t_{13} y *Graves afectaciones en la zona* (GAZ), t_{14} , se combinan resultando un tiempo total, t_c , definido como el tiempo inactivo del edificio por efectos de vecindario:

$$t_c = \max(t_9, t_{12}, t_{13}, t_{14}) \quad (7)$$

Como se muestra en la figura 9, el tiempo inactivo por colapso total de un edificio vecino aumenta cuando hay víctimas humanas debido a que la remoción de escombros no puede llevarse a cabo hasta la finalización de las labores de rescate, tal como sucedió con el inmueble del Colegio Enrique Rébsamen (figura 10). En consecuencia,

$$t_9 = t_7 + t_8 \quad (8)$$

donde t_7 y t_8 son los tiempos inactivos por labores de rescate de víctimas humanas y por trabajos de remoción de escombros de un edificio vecino, respectivamente. En algunos edificios colapsados a causa del sismo del 19S de 2017, además del retiro de materiales se efectuaron algunas actividades de demolición. Se documentó que en ocasiones las actividades de rescate en edificios colapsados demoraron hasta 15 días, lo cual propició una interrupción de los negocios establecidos en los alrededores.

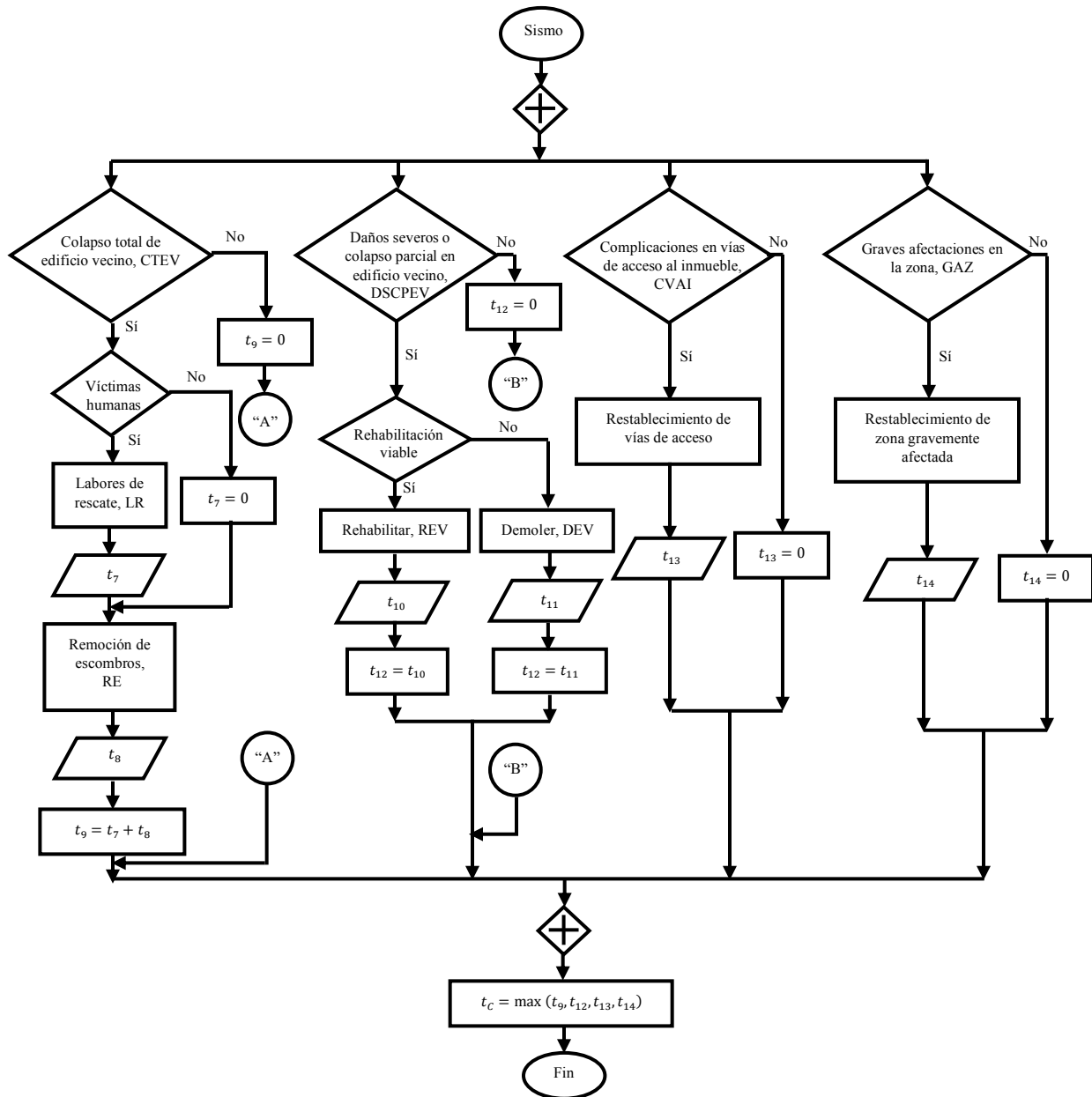


Figura 9. Diagrama de flujo del “Proceso 3: Cálculo del tiempo inactivo del edificio por efectos de vecindario, t_C ”



Figura 10. Actividades de rescate tras el colapso del Colegio Enrique Rébsamen. Se identificaron 19 niños y 7 adultos fallecidos. Fuente: Infobae

En el diagrama de flujo mostrado en la figura 9, se considera que t_{10} es el tiempo inactivo del edificio del negocio hasta la rehabilitación de un edificio vecino por daños severos o colapso parcial; si la rehabilitación no es viable, entonces se requiere de su demolición, la cual se observó que en la Ciudad de México se efectuó con maquinaria y trabajos manuales incrementándose el tiempo de interrupción del negocio con respecto a si se hubiera efectuado una demolición con uso de explosivos, la cual se prohibió para evitar afectaciones a inmuebles aledaños y por seguridad de las personas, ya que esta es una de las ciudades más pobladas en el mundo. Asimismo, el tiempo inactivo por demolición de un edificio vecino se define como t_{11} y se considera que el negocio queda paralizado totalmente desde el día de la ocurrencia del sismo hasta la culminación del retiro de escombros del edificio aledaño demolido, es decir, durante las siguientes etapas que se observaron:

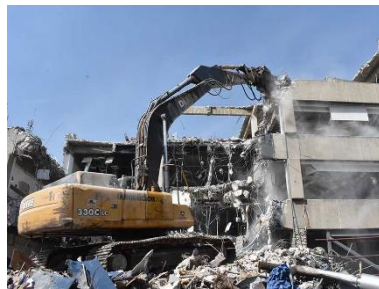
- Estudios previos a los trabajos de demolición
- Elaboración y emisión de dictamen de demolición
- Procesos administrativos
- Trabajos de preparación y protección
- Retiro de contenidos de la edificación
- Derribo, fragmentación o desmontaje de la edificación
- Retiro de los materiales derribados

En la tabla 5 se muestra el tiempo aproximado de demolición y el tiempo transcurrido desde la ocurrencia del sismo del 19S de 2017 hasta el retiro total de escombros de tres edificaciones que resultaron con daños severos en la Ciudad de México, las cuales se muestran en la figura 11. La demolición del edificio recargado en un edificio contiguo se retardó varios meses debido a juicios de amparo promovidos por los propietarios del edificio vecino afectado. Asimismo, los trabajos de demolición para un edificio de 16 niveles se llevaron a cabo en aproximadamente tres meses, sin embargo, transcurrió alrededor de un año y tres meses desde el día del sismo hasta el retiro de los materiales de derribo.

Algunos negocios contiguos a los edificios severamente dañados continuaron con sus actividades hasta que iniciaron los trabajos de demolición e incluso durante estos, no obstante, los dueños indicaron que sufrieron una notable disminución en las ventas por la desconfianza de los clientes.

Tabla 5. Tiempo aproximado de demolición y tiempo transcurrido desde la catástrofe hasta la culminación de retiro de escombros para algunos edificios de la CDMX dañados por el sismo del 19S de 2017

Descripción del edificio	Daños observados	Tipo de demolición	Tiempo aproximado de los trabajos de demolición	Tiempo aproximado transcurrido desde el sismo hasta el retiro total de escombros
Edificación de centro de atención telefónica de concreto reforzado de 3960 metros cuadrados, con cuatro niveles y cuartos de azotea.	Daños severos en varias columnas que pusieron en peligro la estabilidad global de la estructura.	Método mixto que consistió en trabajos manuales que requirieron de alrededor de 15 trabajadores y en uso de maquinaria.	50 días	6 meses
Edificio de 11 niveles: sótano, planta baja, 24 departamentos en 8 pisos y azotea con cuartos de servicio y cuarto de máquinas.	Daños severos en columnas, traveses y losas, y gran inclinación del edificio recargándose en un edificio vecino. Daño estructural en las columnas de la planta baja quedando expuestas las barras de refuerzo de acero, las cuales fallaron por compresión. Aberturas de hasta 30 cm en las escaleras. El edificio sufrió deformaciones excesivas quedando en riesgo inminente de colapso.	Los trabajos de demolición se llevaron a cabo con 50 trabajadores. Los siete niveles superiores se demolieron manualmente y luego se empleó retroexcavadora.	75 días	9 meses
Edificio de 16 niveles con 56 departamentos y ocho locales comerciales.		Los trabajos de demolición se realizaron con una cuadrilla de 40 demoledores en conjunto con una grúa de 120 toneladas y dos retroexcavadoras.	3 meses	1 año y 3 meses



A)



B)



C)

Figura 11. Demolición de edificios dañados severamente ubicados en: A) Puebla 277, colonia Roma Norte, alcaldía Cuauhtémoc. Fuente: Excelsior, B) Paseo del Río 10, colonia Paseos de Taxqueña. Fuente: Heraldo de México, C) Calle Dr. Lucio 102, colonia Doctores. Fuente: Excelsior

Para efectos de este trabajo, las complicaciones en las vías de acceso al inmueble se definen como el congestionamiento ante la emergencia del desastre y los daños (incluyendo colapsos) tanto de carreteras como de puentes, lo cual dificulta o impide la asistencia del personal y de los clientes o los consumidores a las instalaciones del negocio.

El sismo del 19S también dañó la infraestructura vial. De acuerdo con Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE) y la Policía Federal, dentro de las afectaciones que se propiciaron están el colapso de un puente de la autopista México-Acapulco, tramo Cuernavaca-Chilpancingo 109+000, la aparición de grietas de aproximadamente 50 cm y un hundimiento de un metro en el kilómetro 25 de la carretera del Estado de México en dirección a Nicolas Romero con Santa Ana Jilotzingo y agrietamientos desde la calle Panorama hasta la calle Cocoxochitl, deformación del pavimento y desprendimiento del material en los muros de contención en la carretera Xochimilco-Tulyehualco (figura 12). Aunque no se cuenta con información sobre el tiempo de reparación de los primeros dos casos citados, está documentado que la carretera Xochimilco-Tulyehualco estuvo cerrada alrededor de 565 días, debido a que se requirió de reconstruir 674 m de muros de contención, recuperar 3100 m² de áreas verdes, así como de restaurar la carpeta asfáltica en 11200 m², rehabilitar 570 m² de banquetas y 313 m de guarniciones, renovar los señalamientos viales e instalar 10 postes de luz ahorradores de energía en las vialidades aledañas.



Figura 12. Daños en la infraestructura vial: A) Colapso de un puente en la autopista México-Acapulco. Fuente: El Universal. Créditos: Policía Federal y B) Agrietamiento en la carretera Xochimilco-Tulyehualco. Fuente: Quadratín México

Debido a la evidencia fehaciente relativa a la población afectada, considerando personas lesionadas, fallecidas y evacuadas, pérdidas materiales y daños a los servicios vitales, edificios, sistemas estratégicos y medio ambiente, el gobierno de la CDMX realizó una declaratoria de emergencia un día después del sismo ocurrido el 19S de 2017 con motivo de este evento catastrófico, en la que con base en el artículo 9 suspendió todos los eventos, concentraciones y espectáculos masivos en espacios públicos en la Ciudad de México durante la vigencia de la declaratoria citada (Gobierno de la Ciudad de México (A), 2017). El 29 de septiembre emitió un decreto en el cual dio por terminada la suspensión establecida en dicho artículo (Gobierno de la Ciudad de México (B), 2017), de modo que a partir de ese día inmuebles como auditorios, estadios, foros, cines, teatros, establecimientos mercantiles dedicados a espectáculos públicos y centros culturales reanudaron sus actividades paulatinamente al cumplir con la normatividad en materia de Protección Civil, Espectáculos Públicos y Seguridad Estructural. Se registraron algunas excepciones de negocios de este tipo que pudieron operar nuevamente con antelación a la fecha citada al obtener un dictamen de seguridad estructural favorable (sin riesgo), por ejemplo, el Papalote Museo del Niño y el Museo de Arte Popular efectuaron su reapertura el 25 y el 27 de septiembre de 2017, mientras que algunos

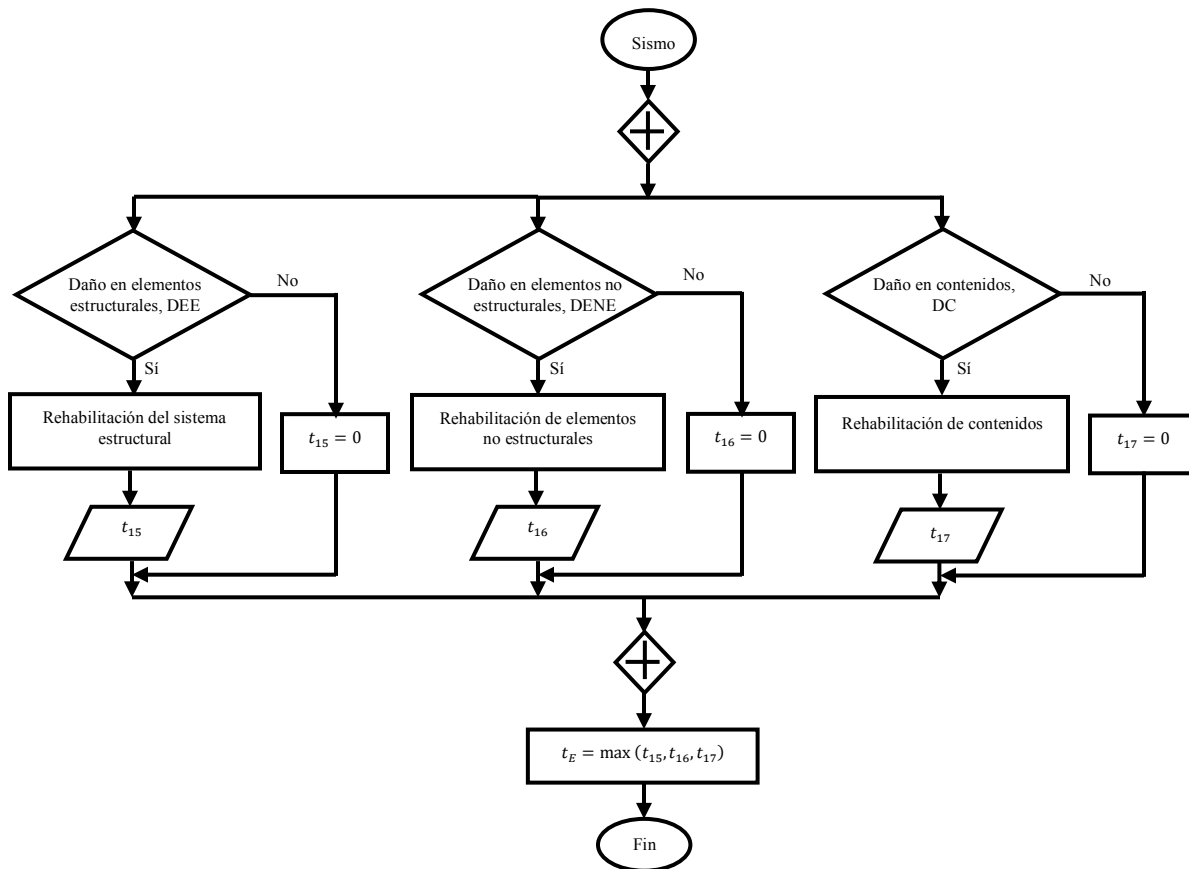
recintos permanecieron abiertos durante todo este periodo únicamente para servir como albergues y centros de acopio, tal fue el caso de la Casa Refugio Citlaltépetl.

Además, el 21 de septiembre de 2017 el gobierno de la CDMX declaró zona de desastre las áreas de la Ciudad de México afectadas por el sismo (Gobierno de la Ciudad de México (C), 2017). Se observó que la reapertura de muchos negocios se llevó a cabo tras un restablecimiento parcial y no total de la zona gravemente afectada.

Proceso 4: Cálculo del tiempo inactivo por daños en los componentes del edificio, t_E

En el proceso 4 (figura 13) el edificio pierde su operatividad debido a daños en sus componentes. El valor máximo de los tiempos de inactividad por las subfuentes *Daño en elementos estructurales* (DEE), *Daño en elementos no estructurales* (DENE) y *Daño en contenidos* (DC), t_{15} , t_{16} y t_{17} respectivamente, da como resultado el tiempo inactivo por daños físicos en el edificio, t_E .

$$t_E = \max(t_{15}, t_{16}, t_{17}) \tag{9}$$



ISSN-e-2395-8251

Figura 13. Diagrama de flujo del “Proceso 4: Cálculo del tiempo inactivo por daños físicos en el edificio, t_E ”.

Aunque los daños en los elementos no estructurales (muros divisorios, ventanas, puertas, plafones, entre otros) no ponen en peligro la estabilidad global de la edificación, se deben rehabilitar a la brevedad

para recuperar la funcionalidad del inmueble, ya que pueden poner en riesgo la integridad del personal y de los clientes, además de que generan desconfianza en estos, sobre todo en aquellos negocios en los que se está en contacto directo. Algo análogo ocurre con el daño de contenidos tales como maquinaria, mobiliario, equipos y stocks con el problema adicional de que estos pueden impedir totalmente el desarrollo de actividades empresariales específicas, sin embargo, el tiempo de interrupción se puede minimizar si el negocio cuenta con activos tangibles de repuesto. Pese a que los contenidos no se dañen al deslizarse o volcarse por el sismo, la unidad económica puede experimentar una breve interrupción por el reacomodo de estos.

Tras el sismo del 19S del 2017, se observó que los edificios que resultaron con daños en los elementos estructurales o no estructurales quedaron inactivos durante todas las siguientes etapas o en la mayoría de estas:

- Obtención de recursos financieros por parte de los dueños o directivos.
- Evaluación de la seguridad de acuerdo con la legislación vigente.
- Solicitud y elaboración de presupuestos del costo total de la rehabilitación (mano de obra y materiales).
- Selección definitiva del grado de intervención (reparación, reforzamiento, reestructuración, entre otros), de las técnicas de rehabilitación y de quienes llevaron a cabo los trabajos de campo y gabinete
- con base en la decisión del propietario del edificio o de las autoridades competentes y las recomendaciones de ingenieros o expertos en construcción.
- Elaboración del proyecto de rehabilitación con base en la normativa de construcción vigente (RCDF, 2017), incluyendo trabajos de campo adicionales a los efectuados en otros niveles de evaluación, cálculos estructurales, elaboración de planos y memorias de cálculo definitivas.
- Permisos gubernamentales.
- Construcción de la rehabilitación estructural o no estructural.

En la evaluación detallada de daños se llevó a cabo un levantamiento más minucioso de los daños en las edificaciones (ReNE, 2018) poniéndose énfasis en los daños estructurales máximos observables (mecanismo y características) con el objetivo de proponer, en ocasiones de manera previa o provisional, el tipo y las técnicas de rehabilitación, y también se identificaron las afectaciones en otros elementos como tanques, lámparas, balcones, escaleras, entre otros (tabla 6). Los inmuebles quedaron inactivos durante la solicitud del servicio y la realización de los trabajos de campo y gabinete.

En ocasiones se requirió de una evaluación estructural formal aún más detallada junto con un proyecto de rehabilitación (ReNE, 2018) llevados a cabo por un despacho de Ingeniería Estructural o una empresa especializada en rehabilitación estructural (tabla 6). En edificios con un nivel de daño global estructural severo o con colapso parcial se determinó con base en un análisis costo-beneficio si la rehabilitación estructural era viable o si estos debían demolerse.

Aunque algunas investigaciones se han enfocado en el análisis e interpretación de los daños y en la evaluación del comportamiento de sistemas estructurales de distintos edificios por el sismo del 19S de 2017 (Buendía y Reinoso, 2019; Rodríguez, 2019; Tapia y García, 2019; Pujol y Rodríguez, 2019) e inclusive en la rehabilitación de estos (Ruiz *et al.*, 2019), no se dispone de un inventario de edificios en el que se relacionen los daños directos en estos con el tiempo de ejecución de obras de rehabilitación ni con el tiempo total en el que perdieron su funcionalidad.

Tabla 6. Niveles minuciosos de evaluación estructural acorde con el sismo del 19S de 2017 en México

Nivel de Evaluación	Personal que efectuó la evaluación	Período de realización aproximado	Duración promedio de los trabajos de campo
Evaluación detallada	DRO y CSE	Durante las primeras tres semanas posteriores a la primera semana de haber ocurrido el sismo	[1 h,4 h]
Evaluación estructural formal y diseño del proyecto de rehabilitación	Despacho de Ingeniería Estructural o empresa especializada en rehabilitación estructural	Durante los primeros seis meses posteriores al primer mes de haber ocurrido el sismo	Hasta varias semanas

Sin embargo, con base en algunos casos documentados, se identificó que el tiempo inactivo de los edificios fue muy variable, ya que ciertos negocios cerraron únicamente por algunos días debido a daños leves localizados o generalizados en el sistema estructural o por daños menores en los elementos no estructurales en los inmuebles, por ejemplo, el hotel Holiday Inn Coyoacán dejó de operar 22 días, por el contrario, determinadas unidades económicas perdieron su operatividad por un tiempo muy prolongado a causa de daños severos o colapsos parciales o totales en sus instalaciones, por ejemplo, a un año de haber ocurrido el sismo del 19S de 2017, el centro comercial Galerías Coapa continuaba cerrado, aunque tenía contemplado reanudar sus actividades el 31 de octubre de 2018, la unidad Suburbia Villa Coapa se encontraba realizando trabajos de reconstrucción y tenía previsto efectuar su reapertura a mediados del 2019, mientras que la tienda Soriana de Taxqueña no se había logrado recuperar del colapso y no tenía planeada una reconstrucción (figura 14).

ISSN-e 2395-8251



Figura 14. Colapso de la tienda Soriana Taxqueña. Fuente: Expansión. Créditos: Saúl López / Cuartoscuro

Además, se identificó otra gran variedad de factores que influyeron en el tiempo de recuperación de la funcionalidad de los edificios, los cuales se enlistan a continuación:

- El tiempo de rehabilitación varió significativamente para negocios que ostentaban un seguro de daños para los activos tangibles, habiendo sido de interés para el asegurado la liquidación de los reclamos del seguro a la mayor brevedad con la finalidad de reducir las pérdidas por interrupción de negocio. De acuerdo con la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros, un año después de los sismos

del 7S y 19S de 2017, las compañías aseguradoras habían cubierto 82 % de las 73,124 solicitudes que se presentaron para el pago de los daños que se registraron en casa-habitación, comercios, oficinas, inmuebles gubernamentales y hospitales. Las pérdidas en estos inmuebles fueron de alrededor de 30,100 millones de pesos, de las cuales el sector asegurador había efectuado la cobertura de aproximadamente el 60 %.

- En edificios dañados producto de un choque con un edificio vecino, el tiempo de rehabilitación se retrasó notablemente debido a los acuerdos entre los dueños de los inmuebles afectados o por los procesos legales.
- Los recursos financieros otorgados por el gobierno fueron fundamentales para la reconstrucción.
- El tiempo de ejecución de las actividades de rehabilitación estructural estuvo en función de las características del sistema estructural, de la severidad, magnitud y propiedades de los daños, así como de la cantidad de trabajadores que ejecutaron las actividades correspondientes.
- El comienzo de la construcción de la rehabilitación también se retardo debido a que, ante el número elevado de edificios dañados, el costo de la mano de obra y de los materiales constructivos aumentó considerablemente. Este fenómeno conocido como “demand surge” no se aborda con detalle en este trabajo.

Las decisiones de los dueños también fueron determinantes en el tiempo de interrupción de los negocios. Se registraron casos en los que, debido a que los daños en los elementos estructurales y no estructurales no ponían en peligro la seguridad del personal y de los clientes, se continuaron con las operaciones en el negocio tras la inspección post-sísmica, de modo que la rehabilitación se llevó a cabo de manera simultánea a estas, en días inhábiles o incluso nunca se efectuó. Por ejemplo, el hotel Filadelfia que está ubicado frente al World Trade Center de la CDMX ofreció sus servicios nuevamente un día después del sismo una vez que se efectuó la evaluación de la seguridad del inmueble en el que sólo se registraron daños menores, los cuales fueron reparados en su totalidad a una semana de la ocurrencia del evento natural simultáneamente al desarrollo de las actividades empresariales.

CÁLCULO DEL TIEMPO TOTAL INACTIVO DE UN EDIFICIO PARA UN NEGOCIO HIPOTÉTICO

Los conceptos anteriores se ejemplifican con un negocio hipotético de la Ciudad de México establecido en una edificación de dos niveles cuyo sistema estructural es de mampostería confinada para determinar el tiempo de inactividad aproximado del inmueble producto de un sismo hipotético. Se considera que este evento destructivo ocurre al inicio de la jornada laboral, siendo necesario llevar a cabo los protocolos de seguridad iniciales, y que además produce un corte de luz debido a daños en postes y cables en la infraestructura de energía eléctrica y genera daños muy severos en un muro de carga de 10 m² de la planta alta con unidades de mampostería de tipo block macizo de 12x20x40 con aparejo de panderete (colocadas en todas las hiladas con la cara de mayor superficie a la vista). La relación entre la intensidad sísmica y las fuentes de interrupción se encuentra fuera del alcance de este trabajo.

Aunque existen varias escalas para clasificar el grado de daño por sismo de muros de mampostería confinada, en este trabajo se emplea el criterio propuesto por Rodríguez y Castrillón (1995), puesto que es el que recomienda Alcocer (2019) debido a que las NTC-DCEM (2017) también consideran cinco niveles de daño. Como el muro presenta daños muy severos, de acuerdo con el grado V del criterio utilizado, se observan grietas diagonales con un ancho de 7 mm que pasan a través de una gran cantidad de unidades de mampostería del muro y se identifica un agrietamiento en las zonas adyacentes a las conexiones dala-castillo del muro, el cual se extiende en los elementos de confinamiento de concreto (grietas de 2 mm), además de una falla del refuerzo longitudinal y transversal de los elementos de confinamiento.

Con la finalidad de ilustrar la importancia que tiene el hecho de que el negocio disponga de liquidez y la influencia de la participación de los Ingenieros Estructuristas para minimizar el tiempo de interrupción del negocio, se asume que el propietario del edificio cuenta con los recursos financieros necesarios para contratar los servicios de Ingenieros para la realización de la inspección post-sísmica y la evaluación detallada de daños, así como para la rehabilitación estructural de la edificación, y que hay una buena disponibilidad de estos profesionistas para realizar los correspondientes trabajos de campo y de gabinete.

Además, se considera que existen suficientes recursos, tanto de materiales constructivos como humanos, para la ejecución de obras de reparación estructural. También se supone que la edificación se clasifica como de “Vulnerabilidad sísmica baja” de acuerdo con la investigación de campo en la que se evalúa cuidadosamente cada detalle del inmueble (aspectos geométricos, aspectos constructivos, aspectos estructurales, cimentación, suelo y entornos) utilizándose el método simplificado publicado por el CENAPRED (n.d.), el cual consiste en una adaptación del método propuesto por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS,2001) considerando las características de las construcciones y sismicidad en México. Además, el grado de daño global estructural del edificio de mampostería confinada se clasifica como “severo A” de acuerdo con la escala propuesta por Ortiz y Reinoso (2017). Por lo tanto, para reparar la estructura se emplean las técnicas de reemplazamiento del muro y de reconstrucción de los elementos de confinamiento incluyendo el reemplazo de las barras de refuerzo. La elaboración del proyecto de rehabilitación es llevada a cabo por un Ingeniero Estructurista local, mientras que las obras se llevan a cabo por una cuadrilla de la zona conformada por un oficial albañil un peón.

El tiempo inactivo del edificio, t_{TIE} , puede calcularse combinando las ecuaciones 3 y 4. Debido a que no hay efectos de vecindario que propicien una interrupción del negocio, $t_c = 0$. Por consiguiente:

$$t_{TIE} = \max(t_A, t_B, t_E) \quad (10)$$

donde t_A , t_B y t_E son los tiempos inactivos por *Protocolos de seguridad iniciales (PSI)*, *Suspensión de servicios públicos de suministro (SSPS)* y *Daños en los componentes del edificio (DCE)*.

De la ecuación 5 se conoce que el tiempo inactivo por PSI es $t_A = \max(t_1, t_2)$. Además, como únicamente se suspende el servicio público de energía eléctrica y sólo hay daños en el sistema estructural del edificio, los tiempos inactivos por SSPS y DCE son, de forma respectiva, $t_B = t_3$ y $t_E = t_{15}$. Al reemplazar estos tiempos en la ecuación 10, resulta:

$$t_{TIE} = \max(t_1, t_2, t_3, t_{15}) \quad (11)$$

donde t_1 , t_2 , t_3 y t_{15} son los tiempos de inactividad medidos desde la ocurrencia del sismo por las subfuentes *Ocurrencia del sismo en horario laboral (OSHL)*, *Inspección post-sísmica del edificio (IPE)*, *Suspensión del suministro de energía eléctrica (SSEE)* y *Daño en elementos estructurales (DEE)*, respectivamente.

En la figura 15 se muestra el diagrama de Gantt con las actividades desarrolladas durante el tiempo de cierre del negocio y en la figura 16 se muestra el diagrama de Gantt del tiempo de ejecución de las actividades de rehabilitación estructural del edificio, el cual se ha determinado con base en rendimientos obtenidos a partir de aplicar entrevistas a expertos en construcción de la CDMX.

	Tiempo (semana)																																																
	1							2							3							4							5																				
Suspensión de actividades hasta nuevo aviso	■																																																
Restauración del servicio de energía eléctrica en el edificio	■																																																
Inspección Post-sísmica del edificio	■																																																
Evaluación detallada del edificio								■																																									
Solicitud y elaboración de presupuestos								■																																									
Toma de decisiones para la rehabilitación del inmueble								■																																									
Elaboración del proyecto de rehabilitación								■																																									
Construcción de la rehabilitación estructural								■																																									

Figura 15. Tiempo total inactivo del edificio o de cierre del negocio

Como el sismo ocurre dentro de la jornada de trabajo, el dueño del negocio se ve forzado a suspender las actividades empresariales por el resto del día y hasta nuevo aviso, además, en ese mismo día se restaura la energía eléctrica, de modo que los tiempos de inactividad por OSHL y SSEE son $t_1 = t_3 = 1 d$. Puesto que la inspección post-sísmica del edificio se realiza al día siguiente de haber ocurrido el sismo, el tiempo de inactividad por IPE es $t_2 = 2 d$. En el dictamen se establece que el inmueble se clasifica como “Edificación o área insegura / Riesgo alto”, por consiguiente, este no se puede ocupar temporalmente. Por otra parte, el tiempo de inactividad por DEE es $t_{15} = 35 d$, debido a que el tiempo asociado a los factores que impiden el inicio de las reparaciones es de dos semanas, ya que además de lo expuesto para t_1, t_2 y t_3 , se requiere de una evaluación detallada del edificio, una elaboración de presupuestos, la toma de decisiones y la elaboración del proyecto de rehabilitación, mientras que el tiempo asociado a la ejecución de las obras de reparación es de 3 semanas (figura 16). Al reemplazar los valores de los tiempos correspondientes en la ecuación 11 resulta:

$$t_{TIE} = \max(1 d, 2 d, 1 d, 35 d) = 35 d$$

Por lo tanto, el tiempo de cierre del negocio es de 35 bajo la condición de que la reapertura de este se lleve a cabo al día siguiente de la culminación de las reparaciones estructurales. Es muy probable que la unidad económica experimente algunos trastornos como pérdida de clientes, por lo que le tomaría un tiempo considerable recuperar la productividad. Finalmente, la pérdida por el tiempo total de interrupción del negocio, que está en función de las características de este, es determinada por el respectivo personal con base en la información sobre los ingresos y gastos a través de un estado de resultados.

Tiempo de interrupción de negocios en la Ciudad de México por daños directos y efectos indirectos en edificios a causa del sismo del 19S de 2017

Actividad	Tiempo (días)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Apuntalamiento	■																				
Demolición del muro y remoción de escombros		■																			
Demolición de castillos y dalas, y remoción de escombros			■																		
Habilitado y armado para castillos				■																	
Construcción del muro					■																
Cimbrado y colado de castillos						■															
Habilitado y armado para dalas							■														
Cimbrado y colado de dala								■													
Aplanado grueso									■	■											
Secado (mojando de dos a tres veces por día la superficie)										■	■	■	■	■							
Aplanado fino																■	■	■			
Secado (mojando de dos a tres veces por día la superficie)																		■	■		
Aplicación de sellador y pintado																				■	
Días de descanso laboral							■								■						■

Figura 16. Tiempo inactivo del edificio por la construcción de la rehabilitación estructural

CONCLUSIONES

El sismo del 19S de 2017 ha sido uno de los más catastróficos en la historia de México, debido a que derivó grandes problemas sociales y económicos, entre ellos, afectaciones a las unidades económicas. Con base en lo sucedido tras este evento, en este trabajo se han identificado las fuentes de interrupción de los negocios de la CDMX, se ha propuesto un modelo para determinar el tiempo inactivo aproximado del edificio y se ha recabado información sobre los daños a las infraestructuras y los tiempos de rehabilitación para la Ciudad de México, entre otros aspectos, con la finalidad de tener valores de referencia para los datos de entrada. Finalmente se han ejemplificado los conceptos con un negocio hipotético.

Debido a la ocurrencia de este sismo, se observó que una gran cantidad de negocios dejó de operar temporalmente e incluso de forma definitiva por distintas razones. Se documentaron varios casos en los que esto se propició sin que los edificios en los que estaban establecidos sufrieran daños estructurales o no estructurales. Por ejemplo, 25 complejos de la empresa de Cinépolis cerraron alrededor de seis días por la evaluación de la seguridad de los inmuebles, mientras que dos días después del sismo 267 tiendas de la empresa Oxxo de las 300 que habían paralizado sus actividades en la Ciudad de México efectuaron su reapertura tras la restauración de la energía eléctrica.

Aunque la participación de todos los individuos es fundamental para lograr la recuperación social y económica luego de un desastre, en esta investigación se concluye que la contribución de los Ingenieros Civiles o Estructuristas y Arquitectos es trascendental para minimizar el tiempo de interrupción de los negocios e inclusive evitar el fracaso de estos y, por lo tanto, disminuir las pérdidas por sismo. Esta contribución de estos profesionistas estriba no sólo en las investigaciones que han realizado para mejorar el comportamiento de los edificios ante sismos, garantizando la seguridad de los ocupantes y limitando los daños en los edificios para que los negocios operen lo más pronto posible tras un evento muy fuerte, sino que también, como se evidenció tras el sismo del 19S de 2017, radica en su colaboración para la evaluación de la seguridad de los edificios y la rehabilitación de las distintas infraestructuras.

Para el caso hipotético abordado en este trabajo sobre un negocio establecido en un edificio de mampostería confinada, se obtuvo que este podría tener una paralización de alrededor de cinco semanas principalmente por algunos daños severos en la planta alta. Se ha supuesto que existe una buena disponibilidad de los Ingenieros para llevar a cabo la inspección post-sísmica, la evaluación detallada, la elaboración del proyecto de rehabilitación del edificio y la supervisión de la ejecución de obras correspondiente, ya que de lo contrario el tiempo de cierre del negocio calculado hubiera sido considerablemente mayor.

RECOMENDACIONES

Se reconoce que la mayoría de los tiempos de interrupción de los negocios reportados en este estudio no se relacionan directamente con parámetros cuantificables de peligro sísmico y vulnerabilidad de las estructuras, normalmente empleados en ingeniería sísmica. No obstante, dado que no existe mucha información en la literatura sobre el tiempo en el que las unidades económicas paralizan sus actividades por daños a causa de sismos destructivos, se considera que este estudio puede servir al menos como un referente general. En futuras investigaciones al respecto, sugerimos a Ingenieros Estructuristas relacionar tiempos de interrupción de negocios con índices de daño de edificios para distintas intensidades sísmicas.

Finalmente, recomendamos a los dueños o directivos de los negocios considerar los efectos sísmicos directos e indirectos en los edificios expuestos en este trabajo para poder estructurar de mejor manera los planes de continuidad y de contingencia de sus unidades económicas. Dentro de las acciones resilientes, se sugiere disponer de liquidez para la rehabilitación estructural o no estructural del edificio y otros activos tangibles, contratar un seguro de daños directos y un seguro para la interrupción del negocio, contar con opciones alternas para el suministro de servicios esenciales, tales como plantas de emergencia o reservorios de agua potable, y tener el contacto de un Ingeniero Civil que ostente al menos el grado de Maestro en Ingeniería Estructural o que cuente con una certificación en la materia para la realización de la evaluación de la seguridad del edificio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado al primer autor durante la realización de esta investigación, al personal de los negocios de la CDMX afectados por el sismo M7.1 del 19S de 2017 que accedió a ser entrevistado y a los distintos medios de comunicación de México que proporcionaron datos sobre la interrupción de negocios y las subfuentes de interrupción, así como a los maestros de obra y albañiles entrevistados para obtener el tiempo de reparación estructural en el caso hipotético.

REFERENCIAS

- Alcocer, S (2019), Rehabilitación de Estructuras de Mampostería. En SMIE, *Edificaciones de mampostería*, pp. 281-336. Ciudad de México: LIMUSA.
- Alesch, D, L Arendt y J Holly (2009), "Managing for Long-Term Community Recovery in the Aftermath of Disaster". *Public Entity Risk Institute*.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS. (2001), *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo-resistente de viviendas de mampostería*. Colombia: LA RED.
- ATC-13. (1985), "Earthquake damage evaluation for California". Washington D. C, Estados Unidos: Federal Agency Emergency Management, FEMA.
- Buendía, L M y E Reinoso (2019), "Análisis de los Daños en Viviendas y Edificios Comerciales Durante la Ocurrencia del Sismo del 19 de Septiembre de 2017". *Revista de Ingeniería Sísmica*, 19-35. DOI: [0.18867/ris.101.508](https://doi.org/10.18867/ris.101.508)
- CENAPRED (n.d.), *Evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de viviendas*. SEGOB, SINAPROC, CENAPRED.
- Chang, S (2016), "Socioeconomic Impacts of Infrastructure Disruptions". *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard*. DOI: [10.1093/acrefore/9780199389407.013.66](https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.66)
- Chang, S y A Falit-Baiamonte (2002), "Disaster vulnerability of businesses in the 2001 Nisqually earthquake". *Environmental Hazards*, 59-71. DOI: [10.1016/S1464-2867\(03\)00007-X](https://doi.org/10.1016/S1464-2867(03)00007-X)
- Chang, S y A Lotze (2014), "Infrastructure contribution to business disruption in earthquakes: model and application to North Vancouver, Canada". *Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering*.
- Consorcio Evaluación de Riesgos Naturales- América Latina. (n.d.), *Tomo I: Metodología de modelación probabilista de riesgos naturales. Informe técnico ERN-CAPRA-t1-5: Vulnerabilidad de edificaciones e infraestructura*. Colombia, España y México.
- Federal Emergency Management Agency, FEMA. HAZUS®-MH 2.1. (2013, NOVIEMBRE 17), *Technical Manual: Earthquake Model*. Retrieved from FEMA: <http://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609?id=5120>
- Fernandez, E (2016, octubre 19), *Lessons From the Tianjin Explosion – Business Interruption and Contingent Business Interruption*. Retrieved from Gen Re: <http://www.genre.com/knowledge/blog/business-interruption-and-contingent-business-interruption-en.html>
- Gama, A, H Juárez, y R Arroyo (2012), "Avances recientes en las metodologías para la evaluación estructural de edificaciones típicas". *XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. Acapulco, Guerrero: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

- Gobierno de la Ciudad de México (A), (2017), *Declaratoria de Emergencia con motivo del fenómeno sísmico ocurrido el diecinueve de septiembre de dos mil diecisiete en la Ciudad de Mexico*. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- Gobierno de la Ciudad de México (B), (2017), *Declaratoria de Desastre con motivo del fenómeno sísmico ocurrido el diecinueve de septiembre de dos mil diecisiete en la Ciudad de Mexico*. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- Gobierno de la Ciudad de México (C), (2017), *Decreto por el cual se da por terminada la suspensión establecida por el artículo 9 de la Declaratoria de Emergencia con motivo del fenómeno sísmico ocurrido el diecinueve de septiembre de dos mil diecisiete en la Ciudad de Mexico*. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- Haselton, C, A Liel, G Deierlein, B Dean y J Chou (2011), "Seismic Collapse Safety of Reinforced Concrete Buildings: I. Assessment of Ductile Moment Frames". *American Society of Civil Engineers Journal of Structural Engineering*, 481–491. DOI: [10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000318](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000318)
- Haselton, C, A Liel, S Lange y G Deierlein (2007), *Beam-Column Element Model Calibrated for Predicting Flexural Response Leading to Global Collapse of RC Frame Buildings*. Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2017, septiembre 29), *Estadísticas sobre las afectaciones de los sismos de septiembre de 2017 en las actividades económicas*. Comunicado de prensa núm. 419/17.
- Ishii, T (2016, marzo 16), *Business Interruption Risk and Its Relationship With the Global Economy*. Retrieved from Gen Re: <http://www.genre.com/knowledge/blog/business-interruption-risk-relationship-with-the-global-economy-en.html>
- Kumar Jain, V y J Guin (2009), "Modeling Business Interruption Losses for Insurance Portfolios". *11th Americas Conference on Wind Engineering*. Puerto Rico.
- London Business Interruption Association. (n.d.), *LBIA guide to business interruption insurance and claims*. Inglaterra.
- National Research Council, NRC. (1999), *The impacts of natural disasters: a framework for loss estimation*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences Press.
- NTC-DCEM. (2017), *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- Ordaz, M, E Miranda, E Reinoso y L Pérez Rocha (2000), "Seismic loss estimation model for Mexico City". *12 WCEE 2000 : 12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zeland: New Zealand Society for Earthquake Engineering.
- Ortiz, D y E Reinoso (2017), "Estimación de pérdidas consecuenciales debidas al daño estructural por sismo en edificaciones de mampostería confinada". *Primer Congreso Panamericano de Ingeniería Estructural*. Tarija: UPADI.
- Pujol, S y M Rodríguez (2019), "Evaluación del comportamiento de muros no estructurales en edificios de la Ciudad de México en el terremoto del 19 de septiembre de 2017". *Revista de Ingeniería Sísmica*, 53-66. DOI: [10.18867/RIS.101.529](https://doi.org/10.18867/RIS.101.529)
- Ramírez C M, et al. (2012), "Expected Earthquake Damage and Repair Costs in Reinforced Concrete Frame Buildings". *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 1455-1475. DOI: [10.1002/eqe.2216](https://doi.org/10.1002/eqe.2216)
- RCDF, (2017). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- Red Nacional de Evaluadores, ReNE. (2018, febrero 11), *Metodología para la evaluación de la seguridad estructural de edificios*. México: CENAPRED.

- Rodríguez, M (2019), "Interpretación de los daños y colapsos en edificaciones observados en la Ciudad de México en el terremoto del 19 de septiembre de 2017". *Revista de Ingeniería Sísmica*, 1-18. DOI: [0.18867/RIS.101.528](https://doi.org/10.18867/RIS.101.528)
- Rodríguez, M y E Castrillón (1995), *Manual de evaluación postsísmica de la seguridad estructural de edificaciones. Informe No. 569, 84*. México: Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Rose, A y D Lim (2002). "Business interruption from natural hazards: conceptual and methodological issues in the case of the Northridge earthquake". *Environmental Hazards*, 4, 1-14. DOI: [10.1016/S1464-2867\(02\)00012-8](https://doi.org/10.1016/S1464-2867(02)00012-8)
- Rose, A (2017), "Benefit-Cost Analysis of Economic Resilience Actions". *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard*. DOI: [10.1093/acrefore/9780199389407.013.69](https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.69)
- Ruiz, S, R Jiménez, M Santos y M Orellana (2020), "Evaluación de la fragilidad de dos soluciones de rehabilitación de un edificio de planta baja débil dañado durante el sismo 19/S17". *Revista de Ingeniería Sísmica*, 1-25. DOI: [10.18867/RIS.102.513](https://doi.org/10.18867/RIS.102.513)
- Scholl, R (1979), *Seismic Damage Assessment for High-rise Buildings: Annual Technical Report*. San Francisco, California: URS / John A. Blume & Associates Inc. DOI: [10.3133/ofr81381](https://doi.org/10.3133/ofr81381)
- Tapia, E y S García (2019), "Comportamiento de estructuras de acero durante los sismos de septiembre de 2017". *Revista de Ingeniería Sísmica*, 36-52. DOI: [10.18867/RIS.101.499](https://doi.org/10.18867/RIS.101.499)
- Tierney, K (1997). "Business impacts of the Northridge earthquake". *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 5:2, 87-97. <http://udspace.udel.edu/handle/19716/645>
- Webb, G, K Tierney y J Dahlhamer (2002), "Predicting long-term business recovery from disaster: a comparison of the Loma Prieta earthquake and Hurricane Andrew". *Environmental Hazards* 4:2-3, 45-58. DOI: [10.1016/S1464-2867\(03\)00005-6](https://doi.org/10.1016/S1464-2867(03)00005-6)

INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN EDIFICACIONES DE OAXACA A CAUSA DEL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017

Debido al sismo ocurrido el 7 de septiembre de 2017 en Chiapas, muchos negocios establecidos en el estado de Oaxaca se vieron forzados a detener sus operaciones temporal o definitivamente. En este capítulo se presenta un reporte estadístico con base en una encuesta aplicada en octubre y noviembre de 2019 a 227 microempresas establecidas predominantemente en edificaciones de mampostería o adobe de uno y dos pisos, y ubicadas en Unión Hidalgo, Matías Romero y Juchitán de Zaragoza, en el cual se pone énfasis en el tiempo y las razones de cierre de los negocios, así como en su productividad tras la reapertura y su estado actual a poco más de dos años de haber ocurrido el evento destructivo. Al final de este capítulo 4 se presenta el anexo C4, el cual consiste en un artículo científico publicado en la revista “Natural Hazards” (Ortiz et al., 2021b), reproducido con el permiso de Springer Nature, donde se pueden consultar algunas de las principales contribuciones de esta tesis doctoral, tales como un mapa de riesgo de interrupción de los negocios por el sismo de Chiapas, además de un mayor detalle de las ecuaciones para determinar el tiempo de esta paralización con su respectiva aplicación a una unidad económica hipotética.

4.1 INTRODUCCIÓN

4.1.1 Breve descripción del sismo ocurrido el 7 de septiembre de 2017

Según el Servicio Sismológico Nacional (2017b), el 7 de septiembre de 2017 se registró un sismo con magnitud de Mw8.2 a las 23:49:18 horas (hora local de la Ciudad de México), cuyo epicentro se localizó en el Golfo de Tehuantepec, frente a la costa de Chiapas, a 133 kilómetros al suroeste del municipio de Pijijiapan. Las coordenadas del hipocentro fueron 14.761° latitud N y -94.103° longitud W y la profundidad fue de 45.9 km. El mecanismo focal del terremoto evidenció una falla de tipo normal. Dos días después del sismo se registraron 482 réplicas y 15 días después, 4326 réplicas, cuya distribución abarcó todo el Golfo de Tehuantepec. Por otro lado, con base en el Instituto de Ingeniería, UNAM (2017b), en la estación Niltepec (NILT) se registró una Aceleración Máxima del Suelo (PGA) del orden de 500 cm/s², mientras que, en la Ciudad de México, la PGA registrada en Ciudad Universitaria fue de 8.9 cm/s². En la Figura 4.1 se muestra el mapa de intensidades estimadas del evento mencionado.

4.1.2 Estado del arte

En sismos históricos de gran intensidad, se ha observado que muchos negocios han dejado de operar temporalmente por múltiples motivos, incluso sin que el edificio se haya dañado. Como resultado, las

INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN EDIFICACIONES DE OAXACA A CAUSA DEL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017

empresas han sufrido pérdidas económicas durante el tiempo en que se han visto obligadas a cerrar y, a menudo, durante un período adicional debido a la recuperación después de su reapertura. En el peor de los casos, la interrupción ha sido permanente, por ejemplo, cuando el edificio sufrió daños severos o un colapso total (Ortiz y Reinoso, 2019).

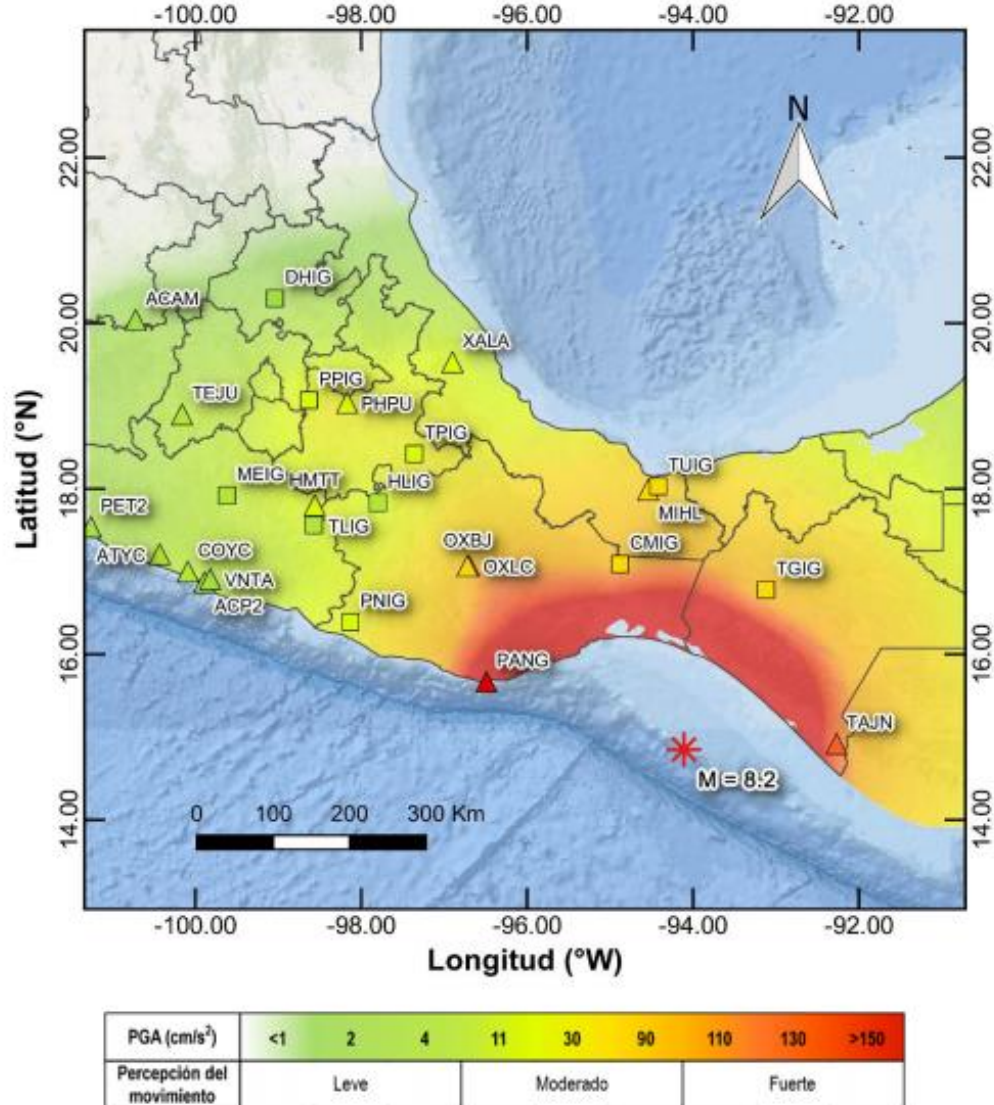


Figura 4.1 Mapa de intensidad de la Aceleración Máxima del Suelo (PGA) para el sismo del 7 de septiembre de 2017. Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM

Puesto que los reglamentos de construcción se han centrado principalmente en diseños sísmicos de edificios basados en la prevención de colapsos, en los últimos años se ha sugerido replantearlos, de modo que no solo se logre la seguridad de los ocupantes, sino que también el tiempo de recuperación sea más aceptable (Earthquake Engineering Research Institute, 2019).

Los ingenieros estructurales comenzaron por determinar de manera aproximada la pérdida por terremoto considerando únicamente las pérdidas directas derivadas del sistema estructural; entre estos trabajos se encuentran la evaluación de daño sísmico para edificios altos (Scholl, 1979), la evaluación de daño sísmico

en California (ATC-13, 1985) y el modelo de estimación de pérdidas sísmicas para México (Ordaz et al., 2000). Investigaciones más recientes han demostrado que los elementos no estructurales y su contenido constituyen un alto porcentaje del costo total de edificios como hospitales, oficinas y hoteles (Taghavi y Miranda, 2002), por lo que las estimaciones de pérdidas directas por sismos para esos componentes también se han realizado (González, 2009; Jaimes y Reinoso, 2013). Asimismo, existen cálculos de pérdidas indirectas (intangibles) que son provocadas por terremotos y se han propuesto métodos para calcular el valor que la sociedad está dispuesta a invertir para salvar vidas humanas (García y García, 2019). Además, existen softwares que estiman la pérdida del cálculo formal del riesgo sísmico de edificios e infraestructura como CAPRA-2007 desarrollado por ERN (n.d.) y HAZUS-MH 4.0-2017 lanzado por FEMA (2019), no obstante, ambos consideran la interrupción de negocio de manera muy aproximada.

Sin embargo, dado que los daños a cualquiera de los componentes de los edificios también pueden provocar la interrupción de las actividades empresariales, la estimación de las pérdidas por interrupción de negocio se ha vuelto relevante para las empresas y el sector de seguros según lo informado por Swiss Re (Newall, 2018), MARSH (Duncan, 2018) y Canadian Underwriter (Strano, 2018). A menudo, estas pérdidas por el cese son mayores o de una proporción considerable con respecto a las pérdidas por los daños a la propiedad (Tierney, 1997). Recientemente, se han realizado importantes esfuerzos para modelar la recuperación de negocios después del incidente. Por ejemplo, se desarrolló un marco analítico para modelar los tiempos de recuperación de las empresas luego de los eventos sísmicos considerando múltiples tiempos de inactividad, como la recuperación del edificio, la interrupción de la comunidad en general y las tácticas de mitigación empleadas por las empresas, utilizando información de 22 unidades económicas afectadas por el terremoto de 2011, de Mw 6.1 en Christchurch, Nueva Zelanda (Cremen et al., 2020). Además, se realizó un modelo probabilístico para estimar y predecir la recuperación de los negocios mediante una regresión lineal bayesiana teniendo en cuenta la interacción entre hogares y empresas, el cual se aplicó en una comunidad de Lumberton, Carolina del Norte, que fue profundamente impactada por el huracán de Matthew ocurrido en 2016 (Aghababaei, 2020).

Se han realizado investigaciones sobre las consecuencias en las empresas por los terremotos más catastróficos en California, incluido el de Coalinga en 1983 (Durkin, 1984; French et al., 1984), Loma Prieta en 1989 (Kroll et al., 1991) y Northridge en 1994 (Gordon et al., 1995; Boarnet, 1998). Además, con base en la recolección de datos de 541 unidades económicas afectadas por los terremotos en Canterbury, se registró que el impacto más disruptivo en estas se debió a los problemas que tuvieron que enfrentar los clientes, y también, resultó que aquellas que alquilaban un edificio se recuperaron un poco mejor con relación a las que eran propietarias del inmueble (Brown et al., 2015). Por otro lado, según una encuesta aplicada a 226 minoristas del mercado central de Portoviejo, 22% no pudo ofrecer sus productos entre 1 y 15 días debido al sismo ocurrido el 16 de abril de 2016 en Ecuador, mientras que 46% fue de 16 a 30 días y 32% por más de 30 días (Valdiviezo, 2019).

Existe evidencia de que luego de un terremoto devastador, puede pasar mucho tiempo antes de que comience la rehabilitación de edificios (Ortiz y Reinoso, 2020). Esto se debe a que casi todos los edificios en los que se instalan los negocios no están asegurados contra daños directos, además de la falta de recursos económicos suficientes para llevar a cabo la reconstrucción. Asimismo, la mayoría de las empresas no cuentan con ningún seguro de daños para su contenido (materias primas, muebles, equipos, maquinaria, existencias). También, en la asignación de recursos económicos a las víctimas por parte del gobierno, se da prioridad a las edificaciones para vivienda y no a las empresas.

De igual forma, uno de los principales problemas que enfrentan los dueños de negocios cuyos edificios sufren grandes daños después de que ocurre un desastre a gran escala es el efecto de "aumento de la demanda", definido como el aumento temporal en el costo de rehabilitación o reemplazo de la propiedad dañada, el cual se ha observado que está en función del monto total de obras de rehabilitación, el tiempo de reconstrucción, los costos de materiales, equipos y mano de obra, los gastos generales y utilidades del contratista, la situación económica general, el manejo de las reclamaciones de seguros y las decisiones de las compañías de seguros (Olsen y Porter, 2011). A pesar de todas estas incertidumbres, se han propuesto metodologías para determinar los tiempos de recuperación de edificaciones dañadas por terremotos (Gutiérrez et al., 2019; Morales y Niño, 2019).

En general, hay pocas investigaciones disponibles sobre el sismo del 7 de septiembre de 2017. Por ejemplo, se ha hecho un análisis de 21 viviendas en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz que fueron dañadas por la licuefacción del suelo por este evento (Guzmán et al., 2020) y en otro trabajo se muestran daños en algunas zonas de Oaxaca después de esta catástrofe (Pozos-Estrada et al., 2019), mientras que Aguilar et al. (2020) describieron el comportamiento de algunos templos coloniales en Chiapas durante el terremoto. Sin embargo, pero no existe un estudio sobre el impacto empresarial del terremoto de Chiapas de 2017 en el que se proporcionen, por ejemplo, tiempos y motivos del cierre de empresas.

4.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Como parte de esta investigación, en octubre y noviembre de 2019 se aplicó una encuesta aleatoria presencial a propietarios o empleados de 227 negocios ubicados en Oaxaca, específicamente 102 en Juchitán de Zaragoza, 75 en Matías Romero y 50 en Unión Hidalgo, con el propósito de evaluar el impacto que les generó el sismo de Mw8.2 de Chiapas. La encuesta centró su medición en microempresas instaladas en edificaciones de mampostería y excepcionalmente de adobe; la mayoría de estas construcciones eran de uno o dos pisos y ocasionalmente de tres o cuatro pisos. Además, como todas las unidades económicas encuestadas tenían la función de ofrecer un producto o servicio, se recopiló información de tiendas de abarrotes, mueblerías, gimnasios, restaurantes, farmacias, veterinarios, tortilleras, tiendas de pintura, ferreterías, papelerías, tiendas, hoteles, carnicerías, salones de belleza, entre otros. Casi todas las unidades económicas eran atendidas por el dueño y un ayudante, sin embargo, no hay información disponible sobre el tiempo que estuvieron operando antes de que ocurriera el terremoto.

4.3 REPORTE ESTADÍSTICO DE NEGOCIOS EN OAXACA AFECTADOS POR EL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017

4.3.1 Tiempo y razones de cierre de las unidades económicas

Uno de los aspectos abordados en la encuesta fue el tiempo en el que las empresas se vieron obligadas a cerrar como consecuencia del sismo del 7 de septiembre de 2017. La Tabla 4.1 muestra que, de los 227 establecimientos económicos considerados en la encuesta, solo 14.1% no cerró (32). También se observa que los casos más comunes fueron aquellos negocios que declararon tener un tiempo de cierre mayor a tres meses, pero menor o igual a seis meses (20.26%). Por otro lado, 4.41% indicó que suspendió

INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN EDIFICACIONES DE OAXACA A CAUSA DEL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017

actividades por más de un año, mientras que 6.17% aún no había podido reabrir a poco más de dos años después de ocurrido el terremoto (14). En general, más de la mitad de los negocios presentaron una interrupción absoluta prolongada, ya que 54.63% no pudo ofrecer sus productos o servicios durante más de un mes. En particular, en Unión Hidalgo destacaron las unidades económicas que cesaron completamente sus actividades por más de seis meses y hasta un año (30% de 50), en Matías Romero las que paralizaron sus operaciones por una semana o menos (36% de 75) y en Juchitán de Zaragoza las que cerraron entre tres y seis meses (34.31% de 102). Algunos de estos establecimientos económicos se muestran en la Figura 4.2.

Tabla 3.1 Porcentaje de negocios acorde con el tiempo de cierre

Tiempo de cierre, Tc	Porcentaje de negocios (%)			
	Unión Hidalgo	Matías Romero	Juchitán	Las tres zonas
Tc ≤ 1 semana	18.00	36.00	3.92	17.62
1 semana < Tc ≤ 1 mes	14.00	14.67	12.75	13.66
1 mes < Tc ≤ 3 meses	6.00	9.33	13.73	10.57
3 meses < Tc ≤ 6 meses	18.00	2.67	34.31	20.26
6 meses < Tc ≤ 1 año	30.00	2.67	12.75	13.22
Tc > 1 año	2.00	0.00	8.82	4.41
No cerró	4.00	34.67	3.92	14.10
Cerrado aún	8.00	0.00	9.80	6.17
Total	100.00	100.00	100.00	100.00



Figura 4.2 Algunos negocios de Oaxaca que interrumpieron sus actividades tras el sismo de Mw8.2 de Chiapas (tipo de negocio - tiempo de cierre): a) tienda de abarrotes - 1 semana; b) recaudería - 2 semanas; c) venta y alquiler de trajes regionales - 3 meses; d) tesorería legal - 4 meses; e) restaurante - 7 meses; f) venta de cosméticos - 1 año y 4 meses; g) palettería nevería -sin días; h) tienda de electrónica – indefinido (actualmente cerrado)



Figura 4.2 (Continuación)

Había una pregunta abierta en la encuesta, en la que los negocios explicaban los principales motivos que provocaron la interrupción de las actividades. Algunas de las personas encuestadas dieron más de una razón, debido a que, por ejemplo, existió la exigencia de una inspección post-sísmica del edificio y posteriormente, el restablecimiento de la energía eléctrica para poder reabrir, incluso algunas unidades económicas tuvieron su primer período de cierre por daños en el edificio o escasez de suministros y un segundo período de cierre casi inmediatamente después de la reapertura por falta de clientes.

Los resultados obtenidos se resumen en la Figura 4.3, donde se observa que la mayoría de los negocios encuestados considerando las tres zonas de Oaxaca indicaron que pararon sus operaciones por daños en el sistema estructural o en los elementos no estructurales del edificio, incluido el colapso total o parcial de la propiedad (103). Otra respuesta recurrente fue el cierre del negocio por ausencia de clientes (41), lo cual se debió a que el desastre a gran escala llevó a muchas personas a enfocarse en la rehabilitación de su propiedad y no en la adquisición de servicios o productos considerados no indispensables. Asimismo, varias unidades económicas declararon que se vieron forzadas a cerrar por la incertidumbre ante las réplicas o la inspección post-sísmica del edificio (17), dado que el propietario o los empleados no se sentían seguros trabajando debido a las numerosas réplicas de gran intensidad que se estaban presentando y que podrían ocurrir, además, de la necesidad de evaluar rápidamente el edificio para decidir si podría ser ocupado sin poner en peligro al personal y a los clientes. De igual manera, algunos establecimientos económicos quedaron inoperativos debido a la escasez de suministros (9), principalmente porque hubo complicaciones en las vías de acceso a los edificios por la atención de emergencia y por la interrupción en el "nivel upstream" en la cadena de suministro. También se registraron casos de empresas que suspendieron sus actividades como consecuencia de afectaciones directas al dueño o empleados (9), tales como problemas de salud mental (incluidos problemas personales derivados de daños a la propiedad o muerte de un familiar) o lesiones físicas. Inclusive, en ocasiones el cese de actividades se debió a daños severos, incluyendo colapsos, ocurridos en un edificio vecino (6), por representar un riesgo para el personal y los clientes. Algunos de estos locales se muestran en la Figura 4.4.

La Figura 4.3 también muestra que tanto en Unión Hidalgo como en Juchitán de Zaragoza, el efecto sísmico que provocó principalmente la interrupción de actividades fue el daño en el sistema estructural o en los elementos no estructurales del edificio, seguido de la ausencia de clientes y luego, respectivamente, por la escasez de suministros y las afectaciones en los contenidos, mientras que en Matías Romero las principales razones por las que dejaron de operar los locales comerciales fueron el desorden o daño en los contenidos, daños estructurales o no estructurales en el edificio y la prevención de réplicas.

INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN EDIFICACIONES DE OAXACA A CAUSA DEL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017

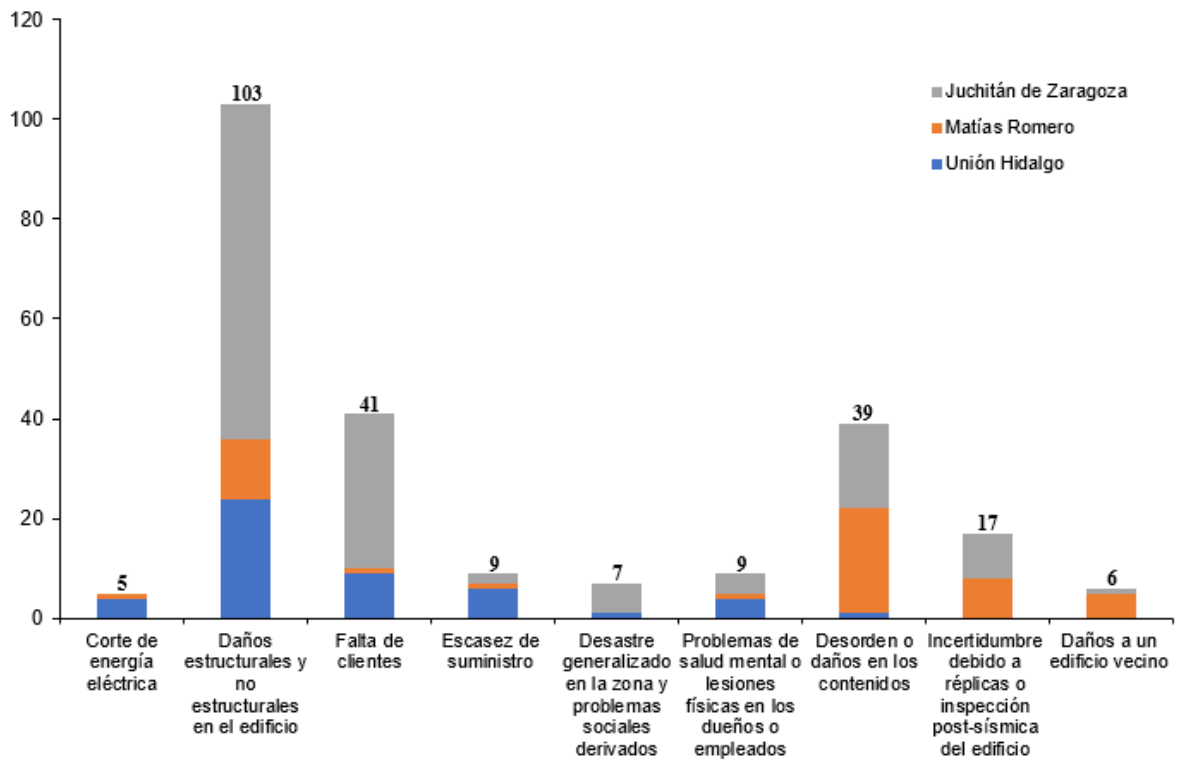


Figura 4.3 Distribución de negocios cerrados según la causa del cese



Figura 4.4 Algunos establecimientos de Oaxaca que detuvieron sus operaciones tras el sismo de Mw8.2 de Chiapas (tipo de negocio - razón de cierre): a) ciber café - corte de energía eléctrica; b) mueblería - daños no estructurales en el edificio; c) tienda de regalos - falta de clientes; d) gimnasio - daños estructurales en el edificio; e) miscelánea - problemas personales del dueño; f) carnicería - daños a un edificio vecino; g) veterinaria - desorden en los contenidos; h) estética - incertidumbre debido a réplicas



Figura 4.4 (Continuación)

Para reducir el tiempo de interrupción absoluta de las operaciones comerciales, algunos propietarios optaron por reubicar sus negocios de forma temporal o permanente. Cabe mencionar que esta acción no fue posible llevarla a cabo para cierto tipo de unidades económicas por sus características intrínsecas, como hoteles o grandes tiendas comerciales. Las principales razones que llevaron al traslado a otro inmueble fueron que el edificio original sufrió graves daños, por lo que su rehabilitación llevaría bastante tiempo, además de que predominantemente este sólo se alquilaba para operar, además de que hubo una ausencia muy notable de clientes. Para efectuar la reapertura del negocio, la mayoría de los empresarios tuvieron que rentar una propiedad, sin embargo, algunos lo hicieron en su propia vivienda. Los resultados de la encuesta mostraron que tanto en Unión Hidalgo como en Matías Romero 5 negocios pudieron reubicarse, mientras que en Juchitán de Zaragoza hubo 24, lo que representa 14.98% de las 227 unidades económicas.

4.3.2 Tiempo de recuperación de las unidades económicas

En la recolección de datos también fue importante conocer el nivel de productividad de las unidades económicas a los pocos días de haber realizado su reapertura. Para los propósitos de esta investigación, se considera que una empresa recupera su productividad cuando alcanza el mismo nivel de ganancias que tenía antes de la ocurrencia del terremoto de Chiapas en 2017. Como se puede observar en la Tabla 3.2, en Matías Romero predominaron los negocios que consideraron que los beneficios disminuyeron más del 50% (45), mientras que, en Unión Hidalgo y Juchitán de Zaragoza prevalecieron los que percibieron que las ganancias cayeron menos del 50% (24 y 55, respectivamente). En general, de los 213 negocios que ya estaban en operación nuevamente, se registró que el alrededor del 88% tuvo una disminución en las utilidades, tal como sucedió con la mueblería y la veterinaria mostradas de forma correspondiente en las Figuras 4.4b y 4.4g, en tanto, dentro de los pocos establecimientos que se beneficiaron después del terremoto (aproximadamente 12%), hubo algunos minoristas, como tiendas de vidrio o la recaudería que se muestra en la Figura 4.2b, así como empresas dedicadas a la venta de material de construcción.

Tabla 3.2 Número y porcentaje de negocios de acuerdo con su nivel de productividad en los primeros días después de su reapertura

Productividad en los primeros días	Número de negocios por zona			Total	Porcentaje (%)
	Unión Hidalgo	Matías Romero	Juchitán de Zaragoza		
Las ganancias disminuyeron menos del 50 %	24	25	55	104	48.83
Las ganancias disminuyeron más del 50 %	5	45	33	83	38.97
Las ganancias aumentaron	17	5	4	26	12.21
			Total	213	100.00

En cuanto al estado actual de los negocios que ya estaban operando nuevamente, a casi dos años y dos meses después haber ocurrido el sismo del 7 de septiembre de 2017, los dueños o empleados de 9 establecimientos comerciales en Unión Hidalgo indicaron que consideraban que la productividad aún no se había recuperado en ese momento, por el contrario, 51 y 59 de Matías Romero y Juchitán de Zaragoza creían correspondientemente que la productividad ya se había recuperado. En resumen, de los 213 negocios de las tres zonas, solo aproximadamente 31% percibió que la productividad aún no se había recuperado.

4.4 ECUACIONES DE TIEMPO DE INTERRUPCIÓN DE NEGOCIO POR SISMO

4.4.1 Tiempo de interrupción para negocios sin reubicación

Según la encuesta, una minoría de los negocios no se vieron obligados a cerrar por el terremoto, por otro lado, la mayoría no se reubicó, además, casi todos presentaron una disminución en sus ganancias al menos en los primeros días después de la catástrofe. Cuando se combinaron estas tres posibilidades, se observó que el tiempo de Interrupción de Negocio, t_{IN} , simplemente fue igual al tiempo de recuperación de la productividad de la unidad económica después del terremoto, que para los propósitos de esta investigación se define como el período que esta tarda en alcanzar el mismo nivel de ganancias que tenía antes del desastre.

Sin embargo, de acuerdo con la recolección de datos, predominaron los negocios que cerraron temporalmente debido a que el edificio perdió su operatividad por una o más razones, observándose que

$$t_{IN} = t_{IE} + t_{RPSR} \quad (4.1)$$

donde t_{IE} es el tiempo de inactividad de la ocupación del edificio y t_{RPSR} es el tiempo de recuperación de la productividad del negocio después de su reapertura sin haber sido reubicado.

La ecuación para estimar t_{IE} considerando todas las fuentes de interrupción de negocio recabadas en la investigación de campo se puede escribir de la siguiente manera:

$$t_{IE} = \max (t_{PSI}, t_{DFCE}, t_{SSP}, t_{EV}, t_{ADDE}, t_{ICN}) \quad (4.2)$$

donde max es una función para obtener el valor mayor del conjunto de datos y t_{PSI} , t_{DFCE} , t_{SSP} , t_{EV} , t_{ADDE} y t_{ICN} son los tiempos inactivos debido a protocolos de seguridad iniciales (PSI), daño físico a los componentes del edificio (DFCE), suspensión de servicios públicos (SSP), efectos de vecindario (EV), afectaciones directas a dueños o empleados (ADDE) e interrupción contingente de negocios (ICN), respectivamente.

Los tiempos de las fuentes de interrupción de la Ecuación (4.2) se pueden combinar de varias formas. Por ejemplo, existe la posibilidad de que la inspección post-sísmica de un edificio no se pueda realizar durante un período de tiempo considerable debido al colapso de un edificio vecino con víctimas humanas, además, muchos factores pueden impedir el inicio de la rehabilitación del inmueble, como el desorden generalizado en la zona. Debido a estas incertidumbres, la Ecuación (4.2) muestra una forma simplificada de todas las

combinaciones posibles, por lo que se considera que t_{PSI} , t_{DFCE} , t_{SSP} , t_{EV} , t_{ADDE} y t_{ICN} son tiempos que se miden desde el terremoto hasta: a) la finalización de los protocolos de seguridad, b) la rehabilitación de los componentes del edificio o la elección del propietario para volver a operar en caso de que los daños no pongan en riesgo la seguridad de los ocupantes del edificio, c) la restauración de los servicios públicos, d) el restablecimiento parcial o total del vecindario, e) la reactivación de proveedores o clientes y f) la recuperación de la salud o reemplazo del personal, respectivamente.

4.4.2 Tiempo de interrupción para negocios con reubicación

Con base en la investigación de campo, algunos negocios se reubicaron para poder retomar sus actividades. El personal indicó que la decisión de instalar una oficina en casa o establecer el negocio en otro edificio dependió del daño al edificio, los recursos financieros, las condiciones del vecindario, las características de la unidad económica, entre otros factores.

Para las empresas que volvieron a operar a través de la oficina en casa, resultó que el tiempo de interrupción de negocio, t_{IN} , fue

$$t_{IN} = t_{CNAHO} + t_{RPHO} + t_{RPDHO} \quad (4.3)$$

donde t_{CNAHO} es el tiempo de cierre del negocio debido a que el edificio pierde su funcionalidad antes de operar a través de la oficina central, t_{RPHO} es el tiempo de recuperación de la productividad empresarial cuando las operaciones se realizan mediante *home office* y t_{RPDHO} es el tiempo de recuperación de la productividad empresarial una vez que las actividades comienzan a desarrollarse nuevamente en el edificio original después de la oficina en casa.

Para las empresas que volvieron a funcionar después de una reubicación temporal absoluta, se observó que

$$t_{IN} = t_{CNART} + t_{RPEP} + t_{TEO} + t_{RPDRT} \quad (4.4)$$

donde t_{CNART} es el tiempo de cierre del negocio debido a la pérdida de operatividad en el edificio antes de reubicarlo temporalmente (incluyendo tiempos por estudios de mercado y traslado de la unidad económica a otro edificio de forma provisional), t_{RPEP} es el tiempo de recuperación de la productividad empresarial cuando las operaciones se realizan en el edificio provisional, t_{TEO} es el tiempo de traslado al edificio original y t_{RPDRT} es el tiempo de recuperación de la productividad empresarial una vez que se vuelven a realizar las actividades en el edificio original después de haberlo reubicado temporalmente.

Para las empresas reubicadas permanentemente en otra propiedad, fue necesario

$$t_{IN} = t_{CNARP} + t_{RPRP} \quad (4.5)$$

donde t_{CNARP} es el tiempo de cierre del negocio debido a la pérdida de operatividad en el edificio antes de reubicarlo permanentemente (incluyendo tiempos por estudios de mercado y transferencia de la empresa a otro edificio de forma permanente) y t_{RPRP} es el tiempo de recuperación de la productividad empresarial considerando una reubicación permanente.

4.5 COMENTARIOS DEL CAPÍTULO 4

El INEGI realizó un importante reporte estadístico sobre las afectaciones en las actividades económicas a causa de los sismos ocurridos el 7 y 19 de septiembre de 2017, sin embargo, debido a que este se emitió 10 días después de haberse suscitado el segundo evento catastrófico, no se informa con exactitud el tiempo que cerraron las unidades económicas por más de tres días, a diferencia de lo presentado en este capítulo 4, el cual se basa en encuestas aplicadas a un poco más de dos años de haber acontecido el primer sismo citado previamente. Otra diferencia importante es que en la investigación efectuada por el INEGI no se abordan las razones de cierre de los negocios, mientras que en el presente capítulo sí. No obstante, la recolección de datos del INEGI se efectuó para negocios situados en varios estados de la República Mexicana, en tanto, las estadísticas mostradas en este capítulo se centran únicamente en tres de las zonas más afectadas de Oaxaca.

Por otra parte, los resultados presentados en este capítulo convergen con un estudio efectuado en la región de Canterbury de Nueva Zelanda tras los sismos ocurridos entre 2010 y 2011, al indicar que una de las razones que más afectó a los negocios fue la ausencia de los clientes debida a los problemas de distinta índole que experimentaron y que muchas unidades económicas se ven en la necesidad de reubicarse para poder operar lo más pronto posible.

Finalmente, se reconoce que las expresiones analíticas propuestas en el capítulo 4 cuentan con limitantes importantes que deben ser consideradas en futuras investigaciones. Por ejemplo, se ha asumido un estado binario "abierto" o "cerrado" para los negocios ignorando la trayectoria de recuperación de la productividad empresarial. Además, es posible que no se hayan considerado tiempos de interrupción por algunas fuentes, por lo tanto, existe la posibilidad de que nuestra propuesta no se pueda generalizar para todos los sismos.

ANEXO C4

**ASSESSMENT OF BUSINESS INTERRUPTION TIME DUE TO
DIRECT AND INDIRECT EFFECTS OF THE CHIAPAS
EARTHQUAKE ON SEPTEMBER 7TH 2017**

En este anexo se presenta el artículo “Assessment of business interruption time due to direct and indirect effects of the Chiapas earthquake on September 7th 2017”, el cual se encuentra publicado en la revista llamada “Natural Hazards” de Springer Nature.

Resumen

Después de un sismo, una empresa a menudo deja de operar temporal o permanentemente debido a efectos directos en el edificio (protocolos de seguridad iniciales y daños físicos a los componentes del edificio) o efectos indirectos (suspensión de servicios públicos, efectos de vecindario, afectaciones directas al propietario o empleados e interrupción del negocio contingente). En esta investigación, recolectamos datos de encuestas aplicadas en octubre y noviembre de 2019 a 227 microempresas establecidas predominantemente en edificaciones de mampostería o adobe de uno y dos pisos, y ubicadas en tres de las zonas más dañadas de Oaxaca por el terremoto del 7 de septiembre de 2017 para saber cómo les afectó este incidente. Se observó que, del total de los negocios encuestados, 44% tuvo que cerrar por más de tres meses y que las dos principales fuentes de interrupción fueron daños en el sistema estructural o en los elementos no estructurales del edificio y la ausencia de clientes, y que 31% de los negocios que ya estaban en funcionamiento consideraban que aún no habían recuperado su productividad. Con base en la información obtenida de las encuestas, fue posible proponer ecuaciones para determinar el tiempo de Interrupción de Negocio. Finalmente, estas ecuaciones se ejemplifican con un negocio hipotético y se muestra la importancia de las acciones que los propietarios deben tomar de manera oportuna para reducir potencialmente el tiempo de interrupción de su unidad económica en caso de un sismo.



Assessment of business interruption time due to direct and indirect effects of the Chiapas earthquake on September 7th 2017

David Ortiz¹ · Eduardo Reinoso¹ · Jorge Alberto Villalobos²

Received: 13 November 2020 / Accepted: 12 May 2021 / Published online: 1 June 2021
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature B.V. 2021

Abstract

After an earthquake, a business often stops operating temporarily or permanently due to direct effects on the building (Initial security protocols and Physical damage to building components) or indirect effects (Suspension of public services, Neighborhood effects, Direct affectations to owner or employees and Contingent business interruption). In this research, we collected data from surveys applied in October and November 2019 to 227 micro-businesses established predominantly in buildings made of masonry or adobe of one and two storeys and located in three of the most damaged areas of Oaxaca by the earthquake of September 7th, 2017 to find out how this incident affected them. It has been observed that, out of the total of the surveyed businesses, 44% had to close for more than three months and that the two main sources of interruption were damages in the structural system or in the non-structural elements of the building and the absence of customers, and that 31% of the businesses that were already in operation considered that they had not yet recovered their productivity. Based on the information obtained from the surveys, it was possible to propose equations to determine the Business Interruption time. Finally, these equations are exemplified with a hypothetical business and the importance of the actions that the owners must take in a timely manner to potentially reduce the interruption time of their economic unit in the event of an earthquake is shown.

Keywords Business interruption · Earthquake losses · Downtime of building occupancy · Structural and non-structural damage · Business closure · Productivity recovery

✉ David Ortiz
DOrtizS@iingen.unam.mx

¹ Institute of Engineering, UNAM, Ciudad de México, Mexico

² Technological Institute of the Isthmus, TecNM, Oaxaca, Mexico

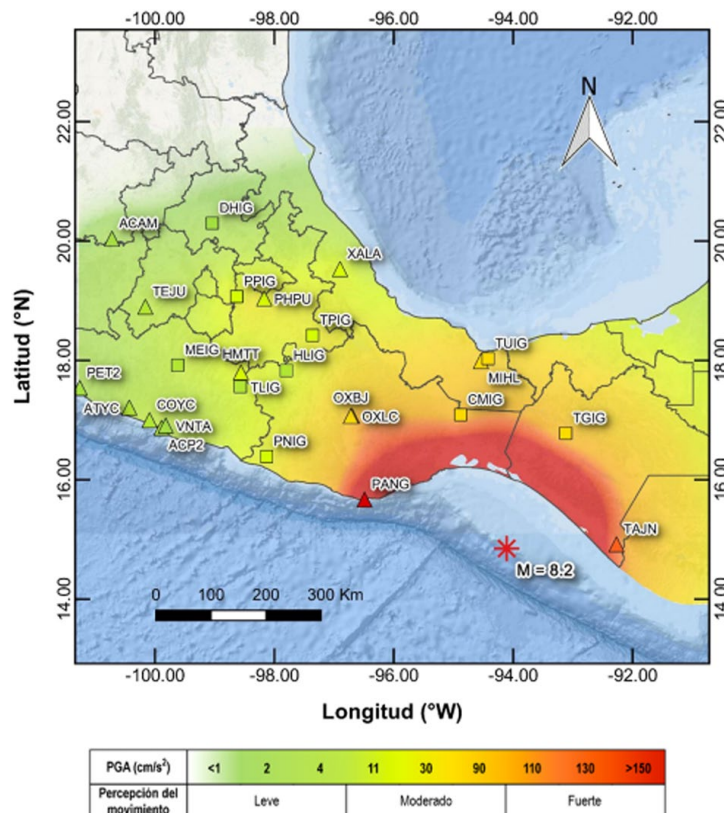
1 Introduction

1.1 Problem, justification and research objective

According to the National Seismological Service (2017), on September 7th, 2017, there was an earthquake registered with a magnitude of $M_w 8.2$ at 23:49:18 h (local time, Mexico City), its epicenter was localized in the Gulf of Tehuantepec, in front of the coast of Chiapas, 133 km southwest of the municipality of Pijijiapan. The coordinates of the hypocenter were 14.761° latitude N y -94.103° longitude W and the Depth was 45.9 km. The focal mechanism of the earthquake evidenced a normal type fault. Two days after the earthquake, 482 aftershocks were registered and 15 days later, 4326 aftershocks, whose distribution covered all the Gulf of Tehuantepec. On the other hand, based on the Engineering Institute, UNAM (2017), the Peak Ground Acceleration (PGA), on the order of 500 cm/s^2 , was registered in the Niltepec station (NILT), while in Mexico City, the PGA registered in the University Campus was 8.9 cm/s^2 (Fig. 1).

This earthquake affected several states of the Mexican Republic, including Chiapas, Tabasco, Veracruz, Mexico State, Mexico City and Oaxaca, the latter being the most affected and in which Juchitán de Zaragoza was the municipality that suffered the most damage to the infrastructure, since thousands of homes, the church, the city hall, several educational institutions and hundreds of buildings with businesses such as the market suffered severe damage or partial or total collapse. At least 100 deaths and 900 injuries were registered. In addition, due to this destructive earthquake, it was observed that many businesses had a temporary stoppage of their activities and in the worst of cases

Fig. 1 Map of the Peak Ground Acceleration (PGA) for the September 7th, 2017 earthquake. Source Engineering Institute, UNAM



permanently. The effects on businesses have not only represented an economic problem, but also a social one, which has retarded the resilience of the affected areas.

Few investigations are available on the earthquake of September 7, 2017. In one study, 21 homes were analyzed in the City of Coatzacoalcos, Veracruz that were damaged by soil liquefaction by this earthquake (Guzman et al. 2020) and in another research shows damage in some areas of Oaxaca after this event (Pozos-Estrada et al. 2019), but there is no study on the business impact of the 2017 Chiapas earthquake in which, for example, times and reasons for business closure are provided. On the other hand, because currently companies of all types and sizes are essential for the functioning of each community and the economic strength of a country, if they cannot resume their activities after an earthquake, supplies of products (food, medicines, among others), public and financial services, and limiting individual and community livelihoods may be affected, which leads to a considerable delay in recovery after a disaster (Federal Emergency Management Agency 2015). This engineering, political and socioeconomic problem is what has motivated the development of this research.

A field investigation has been carried out in which personnel from 227 micro-businesses in three of the most damaged areas of Oaxaca (Juchitán de Zaragoza, Matías Romero y Unión Hidalgo) by the earthquake of September 7th, 2017 have been surveyed to know the business impact of this incident, emphasizing the closing time of the businesses and the causes that led to it, their productivity after the reopening and their current status just over two years after the earthquake occurred. The information obtained is reported statistically and analyzed. Furthermore, based on the data collection, we propose a way to determine the Business Interruption time and finally, in this research, the concepts are exemplified with a hypothetical business and we demonstrate the importance of the actions that the owners must take in a timely manner to potentially reduce the halt time of business activities in the event of an earthquake.

1.2 The risk of business interruption, BI

According to global risk management surveys and risk reports, Business Interruption, BI, is one of the top risks facing companies today and is therefore a primary concern of business risk managers, insurance professionals and corporate managers (Ishii 2016; Newall 2018). This is because there are various threats that can lead to a temporary or permanent halt of business activities, such as the occurrence of natural phenomena and accidents, environmental problems, social and political events and biological problems (Duncan 2018).

One of the first negative effects suffered by a business that is forced to close due to some event is the absence or decrease of income, in addition to the fact that it may continue to have costs such as depreciation of machinery and equipment or payroll payments to workers, property rent, electric power service and bank interest, therefore, not only do they stop earning, but they can also see a loss reflected in the financial report.

Among the factors that affect the recovery of the business, especially after a prolonged interruption, there are (Fernández 2016):

- Decrease in sales that lead to a loss in market position.
- Loss of market positioning associated with the loss of customer trust.
- Decrease in investor confidence.

Consequently, after the reopening of the business, the income obtained may continue to be less than the expenses incurred for a certain period, for example, due to the decrease in sales or due to an increase in operating expenses (administrative, financial, representation, among others).

1.3 BI due to earthquake

In historical earthquakes of great intensity, it has been observed that many businesses have temporarily stopped operating for multiple reasons, even without the building being damaged (Ortiz and Reinoso 2019). As a result, businesses have suffered economic losses during the time in which they have been forced to close and sometimes for an additional period of recovery after its reopening. In the worst case, interruption of business has been permanent, for example, when the building experienced severe damage or complete collapse. In this research, seismic effects are defined as the causes that can lead to partial or absolute inoperability in the building, normally forcing the closure of the business, and which, consequently, generates losses because of the interruption time.

Because building regulations have focused primarily on seismic building designs based on collapse avoidance, in recent years it has been suggested to rethink them so that not only occupant safety is achieved, but recovery time is also more acceptable (Earthquake Engineering Research Institute 2019).

Structural engineers began by roughly determining the loss by earthquake considering only the direct losses derived from the structural system; among these works are the evaluation of seismic damage for tall buildings (Scholl 1979), the evaluation of earthquake damage in California (ATC-13 1985) and the earthquake loss estimation model for Mexico (Ordaz et al. 2000). More recent research has shown that non-structural elements and their contents make up a high percentage of the total cost of buildings such as hospitals, offices and hotels (Taghavi and Miranda 2002), which is why estimates of direct losses from earthquakes for those components have also been made (González 2009; Jaimes and Reinoso 2013). Likewise, there are calculations of indirect (intangible) losses that are caused by earthquakes and methods have been proposed to calculate the value that society is willing to invest to save human lives (García and García 2019). In addition, there are algorithms that estimate the loss from the formal calculation of the seismic risk of buildings and infrastructure such as CAPRA-2007 developed by ERN (n.d.) and HAZUS-MH 4.0–2017 developed by FEMA (2019), however, both consider business interruption very roughly.

However, as damage to any of the components of the buildings can also cause a halt in business activities, the estimation of losses due to business interruption, has become relevant for companies and the insurance sector as reported by Swiss Re (Newall 2018), MARSH (Duncan 2018) and Canadian Underwriter (Strano 2018). Often, these time losses are larger or of a considerable proportion to the losses from property damage (Tierney 1997). Recently, important efforts have been performed to model the recovery of businesses after the incident. For instance, an analytical framework was developed in order to model the times of recovery for businesses after the seismic events considering multiple inactivity times, such as the recovery of the building, the interruption of the community in general and the mitigation tactics employed by the companies, using information from 22 economic units affected by the earthquake of 2011, of Mw 6.1 in Christchurch, New Zealand (Cremen et al. 2020). Furthermore, a probabilistic modeling was performed to quantify and predict the recovery of the businesses through a Bayesian linear regression, taking into account the interaction between homes and companies, which was applied in a

community in Lumberton, North Carolina, which was deeply impacted by Hurricane Matthew in 2016 (Aghababaei et al. 2020).

Research has been done on the business consequences of the most catastrophic earthquakes in California, including the Coalinga of 1983 (Durkin 1984; French et al. 1984), Loma Prieta of 1989 (Kroll et al. 1991) and Northridge of 1994 (Gordon et al. 1995; Boarnet 1998). Furthermore, based on the recollection of data from 541 organizations affected by the earthquakes in Canterbury, it was registered that the most disruptive impact on these was due to the problems clients had to face, and also, those economic units that rented a building recovered a little bit better as opposed to the owners of the place (Brown et al. 2015). On the other hand, according to a poll applied to 226 retailers in the central market of Portoviejo, 22% couldn't offer their products for between 1 and 15 days due to the earthquake that happened on April 16, 2016 in Ecuador, while for 46% it was 16–30 days and 32%, it was more than 30 days (Valdiviezo 2019). It was recently observed that, derived from the September 2017 earthquakes in Mexico, out of 2,041 million businesses, 39.3% suspended activities at some point, of which 43.2% was for one business day, 23.4% for two days, 10.8% for three days, and at least 22.6% for more than three days (Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2017) and an analysis of the damage to homes and commercial buildings due to the 2017 earthquake in Puebla was also carried out, observing that in Mexico City, the buildings between 1 and 10 levels and that were built between the 1960s and the 1980s were the most affected (Buendía and Reinoso 2019).

There is evidence that after a devastating earthquake, there can be a long time before the rehabilitation of buildings begins (Ortiz and Reinoso 2020). This is due to the fact that almost all the buildings in which the businesses are established are not insured against direct damage, in addition to the lack of sufficient financial resources to carry out the reconstruction. In addition, most businesses do not have any damage insurance for their contents (raw materials, furniture, equipment, machinery, stocks). Likewise, in the allocation of financial resources to the victims by the government, priority is given to buildings for housing and not to businesses.

Additionally, one of the major problems faced by business owners whose buildings suffer extensive damage after a large-scale disaster occurs is the “demand surge” effect, that is, the temporary increase in the cost of rehabilitation or replacement of damaged property. It has been observed that the increase in demand is a function of the total amount of rehabilitation works, the time of reconstruction, the costs of materials, equipment and labor, the general expenses and profits of the contractor, the general economic situation, the handling of insurance claims and the decisions of insurance companies (Olsen and Porter 2011). Despite all these uncertainties, methodologies have been proposed to determine recovery times for buildings damaged by earthquakes (Gutiérrez et al. 2019; Morales and Lázaro 2019).

2 Data collection technique

As part of this research, in October and November 2019, random face-to-face surveys were applied to owners or employees of 227 businesses located in Oaxaca (economic units were randomly selected), specifically 102 in Juchitán de Zaragoza, 75 in Matías Romero and 50 in Unión Hidalgo with the purpose of assessing the impact generated on them by the Chiapas earthquake. The survey focused its measurement on micro-businesses established in buildings made of masonry and exceptionally of adobe; most of these constructions were

one or two storeys and occasionally three or four storeys. In addition, as all the economic units surveyed had the function of offering a product or service, information was collected from grocery stores, furniture stores, gyms, restaurants, pharmacies, veterinarians, tortilla stores, pawn shops, painting stores, hardware stores, stationery stores, hotels, butchers, beauty salons, among others. This investigation does not consider the businesses that were established in City Hall and in the Juchitán de Zaragoza market, which had to temporarily suspend activities due to damage to the structural system and non-structural elements of these buildings. Almost all economic units were attended by the owner and a helper, however, there is no information available on the time they were operating before the earthquake occurred.

3 Statistical report of business in Oaxaca affected by the earthquake occurred on September 7th, 2017

3.1 Time and causes of business closure

One of the aspects addressed in the survey was the time in which businesses were forced to shut down as a result of the earthquake of September 7, 2017.

Figure 2 shows that, of the 227 economic establishments considered in the survey, only 14.1% did not close. It is also observed that the most common cases were those businesses that declared that they had a closing time greater than three months, but less than or equal to six months (20.26%). On the other hand, 4.41% indicated that they suspended activities for more than a year, while 6.17% had not yet been able to reopen a little more than two

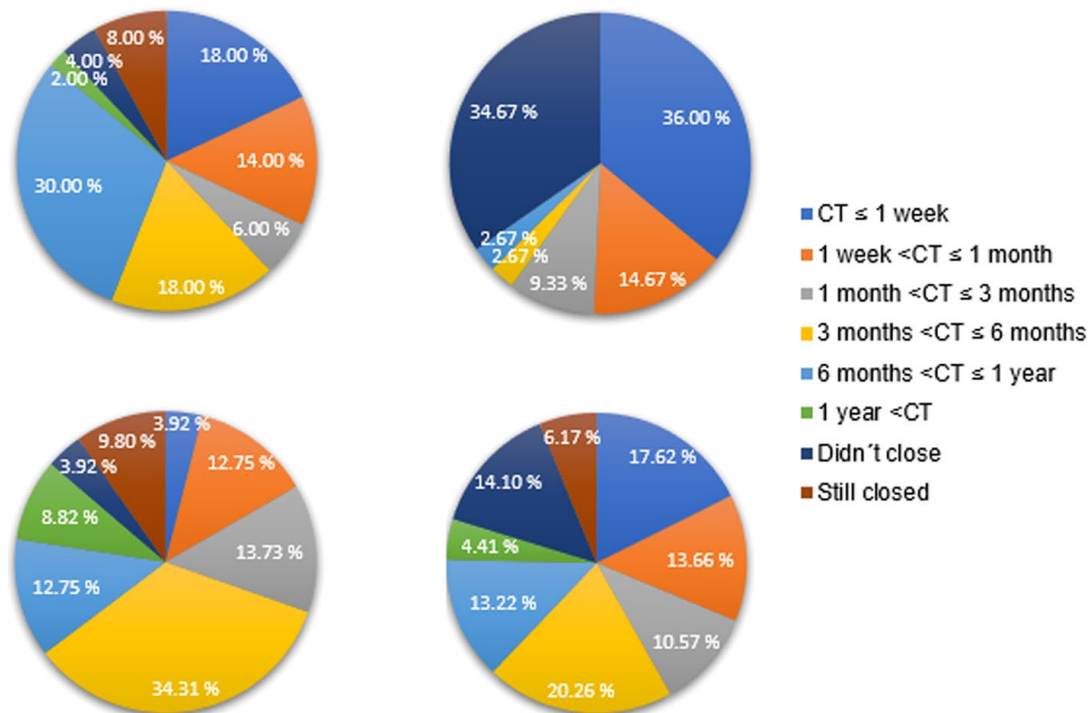


Fig. 2 Percentage of businesses according to the closing time, CT: **a** Unión Hidalgo; **b** Matías Romero; **c** Juchitán de Zaragoza; **d** the three zones

years after the earthquake occurred. In general, more than half of the businesses presented a prolonged absolute interruption, since 54.63% could not offer their services for more than a month. Particularly, in Unión Hidalgo the economic units that completely ceased their activities for more than six months and up to a year (30%) stood out, in Matías Romero those that paralyzed their operations for a week or less (36%) and in Juchitán de Zaragoza those that closed between three and six months (34.31%).

All surveyed businesses were geolocated. Figure 3 shows a general view using Google Earth® of the closing time of some businesses in Juchitán de Zaragoza and Unión Hidalgo. A symbol has been used to identify the exact location of each economic establishment whose color represents a certain time interval in which business operations were completely stopped.

According to Fig. 3a, in Juchitán de Zaragoza the economic units that closed for more than three months, but less than twelve months predominated, while in Matías Romero and

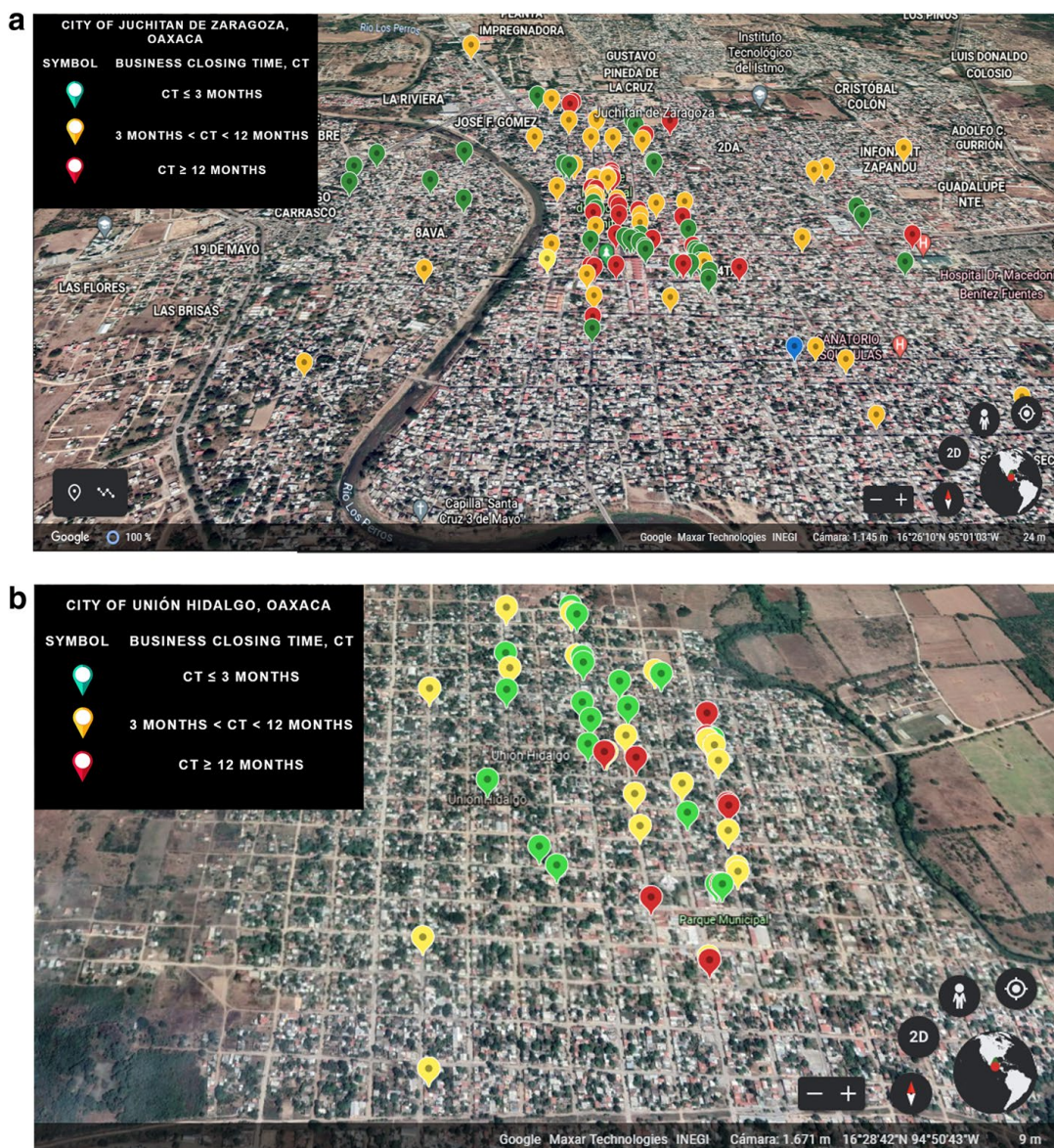


Fig. 3 Closing time, CT, of the businesses surveyed due to the 2017 earthquake in Chiapas: **a** Juchitán de Zaragoza; **b** Unión Hidalgo; **c** Matías Romero



Fig. 3 (continued)

Unión Hidalgo the businesses that closed for three months or less prevailed (Fig. 3b, c). In general, it is observed that in the first municipality mentioned there were more cases with longer interruption times.

There was an open question in the poll, in which the businesses explained the main reasons that caused the interruption of the activities. Some of the people polled gave more than one reason, due to the fact that, for instance, there was the requirement for a post-seismic inspection of the building and afterward, the restoration of power in order to reopen, there even were some economic units that had their first closing period due to damages in the building or shortage of supplies and a second closing period immediately after reopening because of the lack of clients.

The results obtained are summarized in Fig. 4, where we observed that most of the businesses surveyed in the three areas of Oaxaca indicated that they stopped their activities due to damage to the structural system or the non-structural elements of the building, including the partial or total collapse of the property (103). Another recurring response from those surveyed was the closure of the business due to the absence of clients (41), which was due to the fact that the large-scale disaster led many people to focus on the rehabilitation of their property and not on acquiring services or products considered not indispensable. Furthermore, 17 businesses declared that they were forced to close because of the uncertainty of the aftershocks or the post-seismic inspection of the building, given that the owner or the employees didn't feel safe working because of the numerous aftershocks that occurred, these being several and of great intensity, also, the need to evaluate the building quickly to decide if it could be occupied without endangering the occupants. In addition, some economic units were inoperative due to the shortage of supplies (9), mainly because there were complications in the access roads to the buildings due to the emergency care and due to the interruption in the "upstream level" in the supply chain. There were also nine cases of businesses that suspended their activities as a result of direct affectations on the owner or employees, such as mental health problems (including personal problems derived from damage to property or the death of a family member) or damages physical. Likewise, six cases

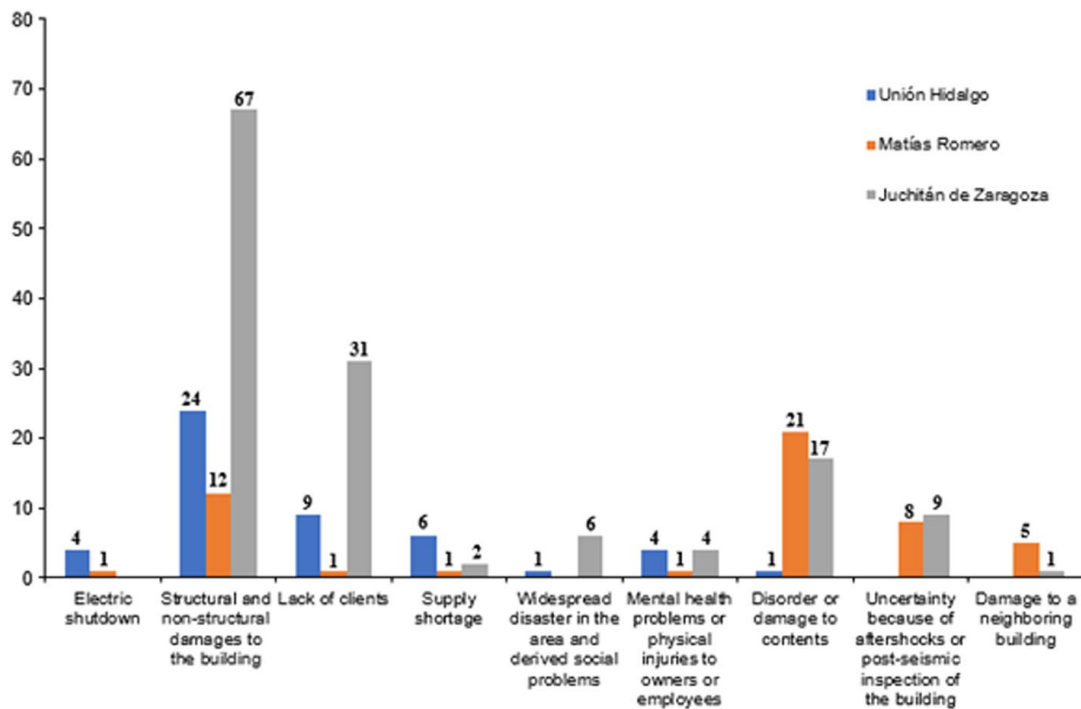


Fig. 4 Distribution of closed businesses by area according to the cause of the closure

were presented due to the severe damage that occurred in a neighboring building, as this represented a risk for staff and customers.

Figure 4 shows that both in Unión Hidalgo and in Juchitán de Zaragoza, the seismic effect that mainly caused the interruption of activities was damage to the structural system and non-structural elements of the building, followed by the absence of customers and then, respectively, by the shortage of supplies and the disorder or damage to the contents, while in Matías Romero the main reasons why the commercial establishments stopped operating were the disorder or damage to the contents, damage to the structural system and non-structural elements of the building and the prevention of aftershocks. Likewise, although there were no cases in Juchitán de Zaragoza in which a business closed due to damage to a neighboring building, there were five cases in Matías Romero and one in Juchitán de Zaragoza.

In order to reduce the total interruption time of business operations, some owners chose to relocate their businesses temporarily or permanently. It should be mentioned that this action was not possible to carry out for certain types of businesses due to their intrinsic characteristics, such as hotels or large commercial stores. According to what was stated by the staff, the main reasons that led to moving the business to another property were that the original building suffered severe damage, so that its rehabilitation would take a long time, in addition to that, in most cases the business owner did not own the damaged building, or there was a very noticeable absence of customers. Although most of the owners had to rent a property to operate again, there were cases in which the transfer was made to their own home. Due to the fact that in the poll, there was a closed question showed in Table 1, in this research, we don't have information on any other resilience action the businesses have taken, such as a change in provider and the use of backup generators. As shown in Table 1, both in Unión Hidalgo and Matías Romero there were 5 businesses that were able

Table 1 Number of businesses that were able, or not, to relocate

Did you relocate for your reopening?	Number of businesses per zone			Total	Percentage (%)
	Unión Hidalgo	Matías Romero	Juchitán de Zaragoza		
Yes	5	5	24	34	14.98
No	45	70	78	193	85.02

to relocate, while in Juchitán de Zaragoza there were 24, which represents 14.98% of the 227 economic units.

3.2 Business recovery time

Among the aspects that were addressed in the survey, it was also important to know the level of productivity of the businesses a few days after having carried out the reopening after the earthquake in Chiapas in 2017. For the purposes of this research, we consider that a business recovers its production by the time it reaches the same level of profit it used to have before the disaster. As can be seen in Fig. 5, in Matías Romero, the businesses that considered that profits decreased more than 50% (60%) predominated, while in Unión Hidalgo and Juchitán de Zaragoza, with 52% and 60%, respectively, businesses that felt that profits fell less than 50% prevailed. In general, of the 213 businesses that were already in operation again, it was

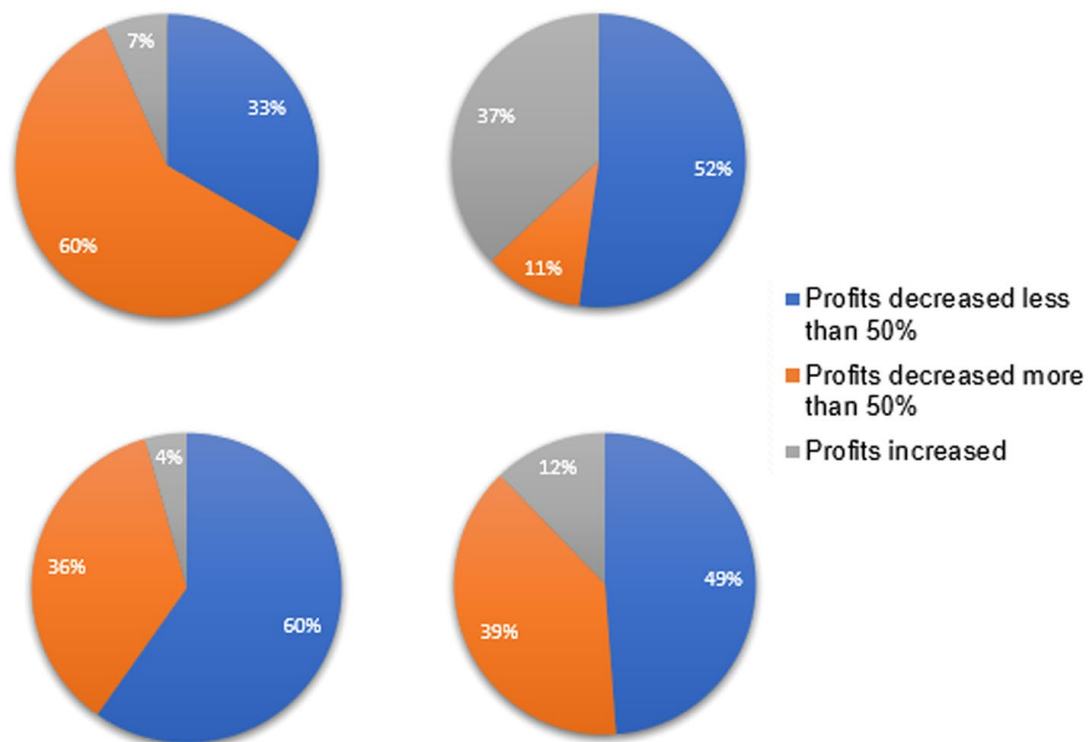


Fig. 5 Percentage of businesses according to their level of productivity in the first days after their reopening: **a** Matías Romero; **b** Unión Hidalgo; **c** Juchitán de Zaragoza; **d** the three zones

recorded that 88% had a decrease in profits, and only 12% had an increase in profits. Within the few businesses that benefited after the earthquake, there were some retailers, such as glass stores and companies dedicated to selling construction material.

Regarding the current status of the businesses that were already operating again, almost two years and two months after the earthquake, the owners or employees of 9 commercial establishments in Unión Hidalgo indicated that they considered that productivity had not yet recovered at that time, on the contrary, 51 and 59 businesses of Matías Romero and Juchitán de Zaragoza correspondingly believed that productivity had already recovered. In summary, of the 213 businesses in the three zones, only 30.99% considered that productivity had not yet recovered (Table 2).

4 Business interruption time due to earthquake

4.1 Classification of sources of business interruption, BI

Considering the survey’s responses, the reasons that forced the closure of business (Fig. 4) as well as information obtained from direct observation, Table 3 presents a classification for the sources of Business Interruption, BI, in which direct seismic effects are considered as the initial safety protocols and physical damage to the building components and indirect seismic effects such as all events that do not occur in the building, except some damage to personnel, such as physical injuries due to partial collapse or falling contents.

4.2 BI time for business without relocating

According to the surveys, the minority of the businesses were not forced to close by the earthquake (Fig. 2), on the other hand, the majority did not relocate (Table 1), in addition, almost all of them presented a decrease in earnings at least in the first days after the catastrophe (Fig. 5). When these three possibilities were combined, it was observed that the Business Interruption time, t_{BI} , was equal to the recovery time of the business productivity after the earthquake, which for the purposes of this research is defined as the period it takes for the business achieve the same level of profit that it had before the disaster.

However, as shown in Fig. 2, the businesses that closed temporarily predominated because the building lost its operation for one or more reasons, observing that:

$$t_{BI} = t_{DBO} + t_{R_{WR}} \tag{1}$$

where t_{DBO} is the downtime of the building occupancy and $t_{R_{WR}}$ is the recovery time of the business productivity after its reopening without having partially or totally relocated.

Table 2 Number of businesses according to their current status

Current status of the building	Number of businesses per zone			Total	Percentage (%)
	Unión Hidalgo	Matías Romero	Juchitán de Zaragoza		
Unrecovered productivity	9	24	33	66	30.99
Recovered productivity	37	51	59	147	69.01

Table 3 Classification of sources of business interruption due to earthquake

Seismic effects on buildings	Type	Event
Direct	Initial security protocols (ISP)	Uncertainty because of aftershocks (UBA) Post-seismic inspection of the building (PIB)
	Physical damage to building components (PDBC)	Damages to structural elements (DSE) Damages to non-structural elements (DNSE) Disorder or damage to contents (DDC)
Indirect	Suspension of public services (SPS)	Electric shutdown (ES)
	Neighborhood effects (NE)	Widespread disaster in the area where the business is located and derived social problems (WDA) Damage to a neighboring building (DNB)
	Direct affectations to owner or employees (DAOE)	Mental health problems (MHP) Physical injuries (PI)
	Contingent business interruption (CBI)	Supply shortage (SS) Lack of clients (LO)

The equation to estimate t_{DBO} considering all sources of interruption shown in Table 3 can be written as follows:

$$t_{DBO} = \max(t_{ISP}, t_{PDBC}, t_{SPS}, t_{NE}, t_{DAOE}, t_{CBI}) \quad (2)$$

where \max is a function to obtain the largest value from the data set and t_{ISP} , t_{PDBC} , t_{SPS} , t_{NE} , t_{DAOE} y t_{CBI} are the inactive times because of Initial security protocols (ISP), Physical damage to building components (PDBC), Suspension of public services (SPS), Neighborhood effects (NE), Direct affectations to owner or employees (DAOE) and Contingent business interruption (CBI), respectively.

Table 4 Proposed values for the inactive time of the buildings according to the reason for closure based on what happened after the earthquake of September 7, 2017 in Chiapas

Reason for closing	Proposed closing time interval (day, d)
Uncertainty because of aftershocks (UBA) or Post-seismic inspection of the building (PIB)	[1,45]
Damages to structural or non-structural elements (DSE or DNSE)	[7,545]
Disorder or damage to contents (DDC)	[1,180]
Electric shutdown (ES)	[2,15]
Widespread disaster in the area where the business is located (WDA)	[3,379]
Damage to a neighboring building (DNB)	[7,379]
Mental health problems or Physical injuries to owner or employees (MHP or PI)	[4,365]
Supply shortage (SS)	[7,150]
Lack of clients (LC)	[5,455]

The times of the sources of interruption of the business can be combined in several ways. For example, there is the possibility that the post-seismic inspection of a building can't be performed for a considerable period of time due to the collapse of a neighboring building in which there were human casualties, furthermore, many factors can impede the start of the rehabilitation of the building, such as the generalized mess in the zone. Due to these uncertainties, Eq. 5 shows a simplified form of all the possible combinations to consider that t_{ISP} , t_{PDBC} , t_{SPS} , t_{NE} , t_{DAOE} y t_{CBI} are times that are measured since the earthquake until: (a) the end of the security protocols, (b) the rehabilitation of building components or the choice that the owner makes to operate again after the damages that they don't risk the security of the occupants of the building, (c) the restoration of public services, (d) the partial or total reestablishment of the neighborhood, e) the reactivation of suppliers or costumers and f) the recovery of health or replacement of personnel, respectively.

Each of the variables in Eq. (2) can be determined by considering their respective events shown in Table 3.

Downtime due to ISP can be determined as:

$$t_{ISP} = \max(t_{UBA}, t_{PIB}) \quad (3)$$

where t_{UBA} y t_{PIB} are the inactivity times in the building due to the Uncertainty because of aftershocks (UBA) and the Post seismic inspection of the building (PIB), respectively.

Downtime due to PDBC can be determined as:

$$t_{PDBC} = \max(t_{DSE}, t_{DNSE}, t_{DDC}) \quad (4)$$

where t_{DSS} , t_{DNSE} y t_{DDC} are the inactivity times, for Damages to structural elements (DSE), Damages to non-structural elements (DNSE) and Disorder o damage to contents (DDC), correspondingly.

Downtime due to SPS can be determined as:

$$t_{SPS} = t_{ES} \quad (5)$$

where t_{ES} is the inactivity time because of the Electric shutdown (ES).

Downtime due to NE can be determined as:

$$t_{NE} = \max(t_{WDA}, t_{DNB}) \quad (6)$$

where t_{WDA} y t_{DNB} are the inactivity times, respectively, due to Widespread disaster in the area where the business is located (WDA) and Damages to a neighboring building (DNB).

Downtime due to DAOE can be determined as:

$$t_{DAOE} = \max(t_{MHP}, t_{PI}) \quad (7)$$

where t_{MHP} y t_{PI} are the inactivity times due to Mental health problems (MHP) and Physical injuries (PI), correspondingly.

Downtime due to CBI can be determined as:

$$t_{CBI} = \max(t_{SS}, t_{LO}) \quad (8)$$

where t_{SS} y t_{LO} are the inactivity times due to Supply shortage (SS) and Lack of clients (LO), respectively.

4.3 BI time for relocated businesses

Based on Table 1, 14.98% of the businesses were relocated to be able to resume their activities. The staff stated that the decision to set up a *home office* or establish the business in another building depended on the characteristics of the business, the damage to the building, financial resources, and neighborhood conditions, among other factors.

For businesses that returned to operating through the *home office*, it turned out that the Business Interruption time, t_{BI} , was

$$t_{BI} = t_{BC_{BHO}} + t_{R_{HO}} + t_{R_{AHO}} \quad (9)$$

where $t_{BC_{BHO}}$ is the business closure time due to the building losing its operativity before operating through the *home office*, $t_{R_{HO}}$ is the recovery time of business productivity when the operations are performed by means of *home office* and $t_{R_{AHO}}$ is the recovery time of business productivity once activities start developing again in the original building after *home office*.

For businesses that were back in business after absolutely relocating temporarily, it was observed that

$$t_{BI} = t_{BC_{BTR}} + t_{R_{PB}} + t_{T_{OB}} + t_{R_{ATR}} \quad (10)$$

where $t_{BC_{BTR}}$ is the business closure time because of the loss of operativity in the building before temporarily relocate the business (including times by market studies and transfer of the business to another building on a provisional basis), $t_{R_{PB}}$ is the recovery time of business productivity when the operations are carried out in the provisional building, $t_{T_{OB}}$ is the transfer time to the original building and $t_{R_{ATR}}$ is the recovery time of business productivity once the activities are carried out again in the original building after having temporarily relocated it.

For businesses permanently relocated to another property, it was necessary to

$$t_{BI} = t_{BC_{BPR}} + t_{R_{PR}} \quad (11)$$

where $t_{BC_{BPR}}$ is the business closure time because of the loss of operativity in the building before permanently relocate the business (including times by market studies and transfer of the business to another building permanently) and $t_{R_{PR}}$ is the recovery time of business productivity once they carried out the activities in the permanently relocated.

All of the variables showed in Eqs. (1 to 11) have the units expressed in days (d).

4.4 Input values for the inactive time of a building derived from each event

If the building does not lose its operability due to any of the events shown in Table 3, then the respective downtime takes a value of zero in Eqs. (3 to 8), otherwise, Table 4 must be used, in which the proposed business closing time interval is shown for each reason, where the extreme values represent the minimum and maximum closing times recorded in the data collection.

Responses from businesses that declared that they were still closed were not considered.

Based on the poll, we could register that the great variation of the closing time of business due to damages in the structural and non-structural elements of the building was directly dependent on the level of damage to the property. For a moderate or severe non-structural damage, the time of delay in activities was from 60 to 270 days, and for moderate or sever

structural damage, it was from 60 to 545 days. Furthermore, the minimum and maximum closing times registered for mild structural and non-structural damage were 30 and 7 days respectively, while for a total or partial collapse, they were 485 and 150 days, respectively. In this research, the description of the damage experienced by the buildings is not on our scope, as well as the rehabilitation techniques employed to get the buildings back in use.

In addition, other factors were identified, such as:

- Most of the owners of the buildings didn't have the immediate financial resources to carry out the rehabilitation.
- Almost none of the buildings had insurance for direct damages.
- The cost of rehabilitation increased due to the increase in the cost of materials and labor, which were scarce. Testimonies were collected in which it was indicated that they had to wait for the arrival of builders from other states of Mexico.
- Most people declared that they did not receive any support from the government or any foundation to rehabilitate the damaged buildings where the businesses were.
- The evaluation of the structural safety of the buildings took too long because it was carried out mainly by altruistic brigades from the localities and there were many buildings to evaluate.
- According to the residents, the allocation of financial resources by the government to the victims to rehabilitate their home was insufficient and there was even poor resource management.

4.5 Closure time for a hypothetical business due to an earthquake

Suppose that a business owner wants to know the approximate time that his economic unit would close because of an earthquake with characteristics similar to those that occurred on September 7, 2017 in Mexico, since there would be a need to take initial safety measures, in addition to the fact that there would be a power cut due to minor damage to the corresponding infrastructure. Also, in a first scenario is envisioned that the building will not suffer structural and non-structural damage, or content, while in a second scenario is shown that the building would suffer severe structural damage. With the goal that the used rehabilitation time used in this example becomes more precise, we assumed that the hypothetical economic unit is established in a masonry one-story building, because these type of constructions were covered by the poll.

In the first case, the downtime of the building occupancy, t_{DBO} , can be calculated with Eq. (2) considering that the business would not be forced to close due to Physical damage to building components (PDBC), Neighborhood effects (NE), Direct affectations to owner or employees (DAOE) and Contingent business interruption (CBI), then $t_{PDBC} = t_{NE} = t_{DAOE} = t_{CBI} = 0$. Therefore,

$$t_{DBO} = \max(t_{ISP}, t_{SPS}) \quad (12)$$

where t_{ISP} y t_{SPS} are the inactivity times in the building because of Initial security protocols and Suspension of public services, respectively.

If we replace Eqs. (3) and (5) in Eq. (12), we have

$$t_{DBO} = \max(t_{UBA}, t_{PIB}, t_{ES}) \quad (13)$$

where t_{UBA} , t_{PIB} y t_{SPS} are the inactivity times for the building given the Uncertainty because of aftershocks (UBA), the Post-seismic inspection of the building (PIB) and Electric shutdown (ES).

According to Table 4, $1d \leq t_{\text{UBA}} \leq 45d$, $1d \leq t_{\text{PIB}} \leq 45d$ and $2d \leq t_{\text{ES}} \leq 15d$. It is possible to assume that the owner would take action as soon as possible to prevent losses. Therefore, upon the occurrence of the event in a work schedule would order the immediate evacuation of the building and suspend business activities for the rest of the day and until further notice for the safety of the occupants also considering that future aftershocks could be of great intensity, which would allow staff to communicate with their relatives to inform each other about their physical and mental health, so $t_{\text{UBA}} = 1d$. The next day a civil engineer would be asked for a first level of evaluation of the security of the building. Considering that a good quality engineer is found, the field and cabinet work would be carried out that same day, so $t_{\text{PIB}} = 2d$. However, despite the opinion indicating that the building and the area are safe and the property could be occupied immediately, business activities could not be resumed due to the lack of electricity. Now, consider that this service would take fifteen days to reestablish, which is the worst time that was recorded in the surveys, then $t_{\text{ES}} = 15d$.

If we consider $t_{\text{UBA}} = 1d$, $t_{\text{PIB}} = 2d$ y $t_{\text{ES}} = 15d$ in equation (16), the result is

$$t_{\text{DBO}} = \max(1d, 2d, 15d) = 15d$$

That is, the business would be closed for 15 days. However, if it is considered that the owner has an emergency electrical plant, the component t_{ES} can be ignored, therefore, the building would be closed for only two days.

Next, the second case is analyzed. Just like the first case, downtime of the building occupancy, t_{DBO} , can be calculated with Eq. (2), but considering only that $t_{\text{NE}} = t_{\text{DAOE}} = t_{\text{CBI}} = 0$. Therefore:

$$t_{\text{DBO}} = \max(t_{\text{ISP}}, t_{\text{PDBC}}, t_{\text{SPS}}) \quad (14)$$

where t_{PDBC} is the inactivity time because of the Physical damage to building components.

Eqs. (3), (4) and (5) are combined with Eq. (14). It has been supposed that there will not be any non-structural damage nor in the contents of the building, meaning that $t_{\text{DNSE}} = t_{\text{DDC}} = 0$. Therefore,

$$t_{\text{DBO}} = \max(t_{\text{UBA}}, t_{\text{PIB}}, t_{\text{ES}}, t_{\text{DSE}}) \quad (15)$$

As stated previously, $t_{\text{UBA}} = 1d$, $t_{\text{PIB}} = 2d$ and $t_{\text{ES}} = 15d$. However, since the building would present severe damage, it could not be occupied until its structural rehabilitation. From Table 4 it is observed that $7d \leq t_{\text{DSE}} \leq 545d$, however, in the poll, there was a stop time registered of between 60 and 545 days for severe structural damage. Under the same criteria that the owner is being warned in advance of the occurrence of the earthquake, it can be assumed that he would have financial resources for rehabilitation. Therefore, the building could regain its functionality after sixty days as recorded in the surveys, that is, $t_{\text{DSE}} = 60d$. Replacing these values in Eq. (15) the result is:

$$t_{\text{DBO}} = \max(1d, 2d, 15d, 60d) = 60d$$

Consequently, the business would be closed for 60 days.

After reopening, in both cases a productivity recovery period would still have to be considered and this component called t_{RWR} must be added with t_{DBO} to determine the Business

Interruption time, t_{BI} , as shown in Eq. (1). Although this information is not available with precision in the data collection, business cases were documented that almost two years after the 2017 Chiapas earthquake occurred, and they claimed they still, they had not fully recovered their productivity.

For the second case, it is now assumed that the owner of the business is not the owner of the building that was damaged by the earthquake and that he makes the choice to not wait until the structural rehabilitation is concluded to operate the economic unit again, and therefore, it strategically relocates the unit permanently. Even though we don't have information on the time these businesses took to relocate, it is evident that a market study would have to be performed and there should be some time for the moving, that is why, just for illustration purposes for the equations, we can consider the stop time as 25 days, and therefore $t_{BC_{BPR}} = 25d$. However, the production recovery component, $t_{R_{PR}}$, has to be added to determine t_{BI} .

5 Conclusions

The earthquake of September 7, 2017 has been one of the most catastrophic in the modern history of Mexico, due to the fact that many buildings were severely damaged or partially or totally collapsed and there were a large number of human victims. On the other hand, this research showed that many businesses suffered negative effects. Analyzing the information obtained from the surveys applied to owners or employees of 227 businesses located in three of the most affected areas of Oaxaca (Unión Hidalgo, Matías Romero and Juchitán de Zaragoza), the following could be concluded:

1. Most of the businesses in the analyzed sample were forced to close due to this event, since only 14.1% did not suspend their operations. It was observed that more than half of the businesses presented a prolonged total interruption, since 54.63% could not offer their products or services for more than a month. Particularly, in Unión Hidalgo, Matías Romero and Juchitán de Zaragoza, the economic units suspended their activities for more than six months and up to a year (30%), for a week or less (36%) and between three and six months (34.31%). In addition, using Google Earth®, all the businesses surveyed were geolocated in order to identify the areas in which businesses had longer closing times.
2. Many economic units suspended their activities for more than one reason. It was recorded that the top three interrupt sources were structural damage to the system or elements nonstructural in the building, the lack of customers and disorder or damage to the contents. Specifically, in Unión Hidalgo and Juchitán de Zaragoza there were more cases with the first cited reason for closure, while in Matías Romero the third most cited cause was more recurrent.
3. Of the 213 commercial establishments that were already in operation again, 88% considered that they had a decrease in profits within a few days of having reopened, on the contrary, only 12% had an increase in their profits. Among the few businesses that benefited after the earthquake, there were some retailers, such as glass stores and places dedicated to the sale of construction material. In addition, the businesses that felt that they had already recovered their level of productivity at the time of the application of the survey prevailed (69.01%). Particularly, in Juchitán de Zaragoza, there was a 35.86%

of the 92 businesses that did not recover, while in Matías Romero, it was 32% out of 75 economic units and in Unión Hidalgo, 19.56% out of 46 economic units.

With the data collection, it was possible to propose a way to determine the business interruption time due to earthquake with input data in which it was observed that the causes that produced a longer closure time in the businesses were the damages to structural or nonstructural elements of the building, the lack of clients, the damages in the neighboring building and the generalized disaster of the area.

The proposed equations say that, if a building doesn't suffer damages in its components, then the businesses activities can be restarted, according to the case, once:

- It is declared that the access to the building is possible without endangering the occupants' safety.
- Public services are restored after the rehabilitation of infrastructure or with provisional actions from the owner of the business, such as the use of emergency plants.
- A partial or total reestablishment of the neighborhood.
- The supplier businesses are reactivated or other options are used to obtain supplies, or other clients are obtained (including the possibility of employing other sources for supplies).
- The health of the personnel is recovered or these are temporally or permanently replaced.

However, if the building where the economic unit is established experiences damages, it is necessary to carry out the repair, reinforcement, reconstruction, restructuration or any other form of intervention to restore the functioning of the building, also, in some cases it is required to rearrange, repair or change the contents. Still, the owner can also make the decision of temporarily or completely relocating his economic unit in order to operate again.

By exemplifying the concepts with a hypothetical business assuming in the first instance that, derived from an earthquake with characteristics similar to those that occurred on September 7, 2017 in Mexico, it would close due to the need to take initial safety measures, besides that there would be a power cut due to minor damage to the corresponding infrastructure, it was demonstrated the importance of the actions that the owner must take immediately to significantly reduce the time of business interruption, such as ensuring the physical well-being and mental health of its employees, as well as requesting a Civil Engineer for the post-seismic inspection of the property. However, it was evidenced that there would be the possibility that these actions are not sufficient if the electrical power takes longer to restore, which is why the option of the owner having an emergency power plant was considered in order to waste less time in the reestablishment of this public service in the corresponding equation, and therefore, reducing the stop time for the business. In a second scenario, it was considered that there would also be severe damage to the building's structural system. It was shown that the inactive time of the building from this source would be the predominant one and that to minimize the closing time it is essential that the business has liquidity, given that, in this way, it is possible to start with the rehabilitation of the building as soon as possible, unless there is a shortage of materials or workers, or any other factor that doesn't allow it. Furthermore, for the second case, we also considered the possibility that the owner makes the

choice not to wait for the structural rehabilitation for the functioning of his economic unit and relocate strategically, having performed a market study.

6 Discussions

INEGI performed an important statistical report on the effects of economic activities due to the earthquakes that occurred on September 7th and 19th, 2017, however, due to the fact that this was emitted 10 days after the second earthquake, the information on the closing time for the business units of more than 3 days was not available, unlike this research, which is based on polls that were applied more than two years after the first earthquake. Another important difference is that in the INEGI investigation, the reasons for closing are not considered, while this research has this. However, INEGI's recollection of data was done for businesses that were located in several states of Mexico, while our information is only focused on the most affected areas of Oaxaca.

On the other hand, this research converges with a study performed in the region of Canterbury, New Zealand after the earthquakes that occurred between 2010 and 2011, indicating that one of the reasons that most affected the businesses was the absence of clients due to a variety of problems that they experience, in addition to the fact that many economic units see the need to relocate in order to be able to operate as soon as possible.

Finally, the authors recognize that the proposed analytical expressions for this work have important limitations that need to be considered for future research. For instance, we have assumed a binary state of “open” and “closed” for businesses, ignoring the trajectory of recovery for their entrepreneurial productivity. Also, we don't consider the interruption times for some sources that were identified in some other studies, such as the one performed by Tierney after the Northridge earthquake, such as the lack of money for the workers' payroll or the suspension of supplies like natural gas, drinkable water, sewage and telecommunication services, therefore, it is possible that our proposal can't be generalized for all earthquakes. Furthermore, the range of closing times due to different factors that is obtained in the poll and that apply for hypothetical buildings can't be generalized, even in other companies in the same region, due to the fact that, for instance, rehabilitation times for buildings can only be relevant for the kind of masonry or adobe structures that were covered by the poll, therefore, we suggest that future research approaches the damage description, rehabilitation techniques and time in which the building loses operativity, more closely, for a group of buildings with different structure and construction material (steel or concrete, for example).

Acknowledgements We thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the financial support provided to the first author during the completion of this research, as well as the students at Tecnológico Nacional de México (TecNM), Instituto Tecnológico del Istmo (Luna Reyes, Celaya Víctor, López Víctor, Espinosa José, Pérez Víctor, López Heidy and Sánchez Antonio) for their collaboration in the application of the surveys and the staff of the businesses established in Matías Romero, Unión Hidalgo and Juchitán de Zaragoza that agreed to be surveyed to provide information on the impact on their economic units by the 2017 Chiapas earthquake.

Funding We thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the financial support provided to the first author during the completion of this research.

Declarations

Conflicts of interest The authors have no relevant financial or non-financial interests to disclose. The authors

have no conflicts of interest to declare that are relevant to the content of this article. All authors certify that they have no affiliations with or involvement in any organization or entity with any financial interest or non-financial interest in the subject matter or materials discussed in this manuscript. The authors have no financial or proprietary interests in any material discussed in this article.

Ethical approval All surveys were anonymous. A statement on ethical approval was not required from the university because this is only needed by them for research directly involving human beings, as opposed to being specifically related to business operations. Regarding Fig. 1, we do not require an informed consent issued by the UNAM, because this University allows the use of the information it publishes for academic or research purposes, as long as the corresponding credits are granted.

References

- Aghababaei M, Koliou M, Watson M, Xiao Y (2020) Quantifying post-disaster business recovery through Bayesian methods. *Struct Infrastruct Eng* 17(6):838–856. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1777569>
- ATC-13 (1985) Earthquake damage evaluation data for California. Federal Emergency Management Emergency, Washington D. C
- Boarnet M (1998) Business losses, transportation damage, and the northridge earthquake. *J Transp Stat.* <https://doi.org/10.21949/1501575>
- Brown C, Stevenson J, Giovinazzi S, Seville E, Vargo J (2015) Factors influencing impacts on and recovery trends of organisations: evidence from the 2010/2011 Canterbury earthquakes. *Int J Dis Risk Reduct* 14(1):56–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.11.009>
- Buendía L, Reinoso E (2019) Análisis de los daños en viviendas y edificios comerciales durante la ocurrencia del sismo del 19 de septiembre de 2017. *Rev De Ingeniería Sísmica* 101:19–35. <https://doi.org/10.18867/RIS.101.508>
- Cremen G, Seville E, Baker JW (2020) Modeling post-earthquake business recovery time: an analytical framework. *Int J Dis Risk Reduct.* <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101328>
- Durkin M (1984) The economic recovery of small businesses after earthquakes: the coalinga experience. International conference on natural hazards mitigation
- Earthquake engineering research institute (2019) Functional recovery: a conceptual framework
- Duncan E (2018) Interrupción de negocio: más allá de lo material. *MARSH.* <https://www.marsh.com/uy/es/insights/risk-in-context/interrupcion-de-negocio.html>. Accessed 19 June 2018
- Engineering Institute, UNAM (2017) Reporte Preliminar: Parámetros del Movimiento del Suelo, Sismo de Tehuantepec (Mw 8.2) del 7 de septiembre de 2017. Ciudad de México: UNAM
- ERN (n.d.) Vulnerabilidad de Edificaciones e Infraestructura. Ciudad de México: Evaluación de Riesgos Naturales
- Federal Emergency Management Agency (2015) Herramienta QuakeSmart para Empresas. FEMA, Washington D. C
- FEMA Inicio. Federal Emergency Management Agency. <https://www.fema.gov/es>. Accessed 12 February 2019
- Fernandez E (2016) Retrieved from lessons from the Tianjin explosion – business interruption and contingent business interruption. *Gen Re.* <http://www.genre.com/knowledge/blog/business-interruption-and-contingent-business-interruption-en.html>. Accessed 19 October 2016
- French S, Ewing C, Isaacson M (1984) Restoration and recovery following the coalinga earthquake of May, 1983. Natural Hazards Research and Applications Information Center, University of Colorado, Boulder, Institute of Behavioral Science
- García J, García E (2019) Cálculo de Pérdidas Indirectas Ocasionadas por Movimientos Sísmicos. *Rev De Ingeniería Sísmica* 100:71–84. <https://doi.org/10.18867/RIS.100.527>
- González R (2009) Estimación porcentual de pérdidas producidas por sismo en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Lacandonia, Rev. Ciencias UNICACH* 3(1) 93–105
- Gordon P, Richardson H, Davis B, Steins C, Vasishth A (1995) The business interruption effects of the Northridge earthquake. Lusk Center Research Institute, School of Urban and Regional Planning, University of Southern California, Los Angeles

- Gutiérrez J, Ayala G, Bairán J (2019) Evaluación del tiempo de recuperación de edificios de concreto reforzado dañados por sismo. XXII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica
- Guzmán J, Williams F, Riquer G, Vargas A, Leyva R (2020) Fallas de licuación de suelos inducidas por el sismo de Tehuantepec del 7 de septiembre de 2017 (Mw 8.2) en la Ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz. México Revista De Ingeniería Sísmica 102:82–106. <https://doi.org/10.18867/RIS.102.526>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017) Estadísticas sobre las afectaciones de los sismos de septiembre de 2017 en las actividades económicas. INEGI, Ciudad de México
- Ishii T (2016) Business interruption risk and its relationship with the global economy. Gen Re. <http://www.genre.com/knowledge/blog/business-interruption-risk-relationship-with-the-global-economy-en.html>. Accessed March 16, 2016
- Jaimes M, Reinoso E (2013) Estimación de pérdidas por sismo de contenidos de edificios. Instituto de Ingeniería (SID), Ciudad de México
- Kroll C, Landis J, Shen Q, Stryker S (1991) Economic impacts of the Loma Prieta earthquake: a focus on small Business. University of California, Transportation Center and the Center for Real Estate and Economics, Berkeley
- Morales E, Niño M (2019) Tiempos de recuperación estructural óptimos para la evaluación de la resiliencia sísmica en escuelas del sector público. XXII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica
- National Seismological Service (2017) Reporte especial sismo de tehuantepec (2017–09–07 23:49 MW 8.2). Ciudad de México: UNAM
- Newall, P (2018) 5 reasons why purchasing business interruption insurance has become a top consideration for corporations in Asia-Pacific. Swiss Re Corporate Soluciones. https://corporatesolutions.swissre.com/insights/knowledge/business_interruption_insurance_five_reasons.html. Accessed June 6, 2018
- Olsen A, Porter KA (2011) What we know about demand surge: brief summary. Nat Hazards Rev (ASCE) 12:62–71. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000028](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000028)
- Ordaz M, Miranda E, Reinoso E, Pérez L (2000) Seismic loss estimation model for Mexico City. 12 WCEE 2000 : 12th World conference on earthquake engineering, New Zealand Society for Earthquake Engineering
- Ortiz D, Reinoso E (2019) Elementos que contribuyen a la interrupción de negocios en edificios por sismo. XXII congreso nacional de ingeniería sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica
- Ortiz D, Reinoso E (2020) Tiempo de interrupción de negocios en la Ciudad de México por daños directos y efectos indirectos en edificios a causa del sismo del 19S de 2017. Rev De Ingeniería Sísmica 104:1–31. <https://doi.org/10.18867/RIS.104.538>
- Pozos-Estrada A, Chávez M, Jaimes MA, Arnau O, Guerrero H (2019) Damages observed in locations of Oaxaca due to the Tehuantepec Mw8.2 earthquake. México Nat Hazards 97:623–641. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03662-9>
- Scholl R (1979) Seismic damage assessment for high-rise buildings: annual technical report. URS / John A. Blume & Associates Inc., California
- Strano J (2018) Understanding business interruption losses. Canadian underwriter. <https://www.canadianunderwriter.ca/>. Accessed April 11, 2018
- Thagavi S, Miranda E (2002) Seismic performance and loss assessment of nonstructural building components. 7th National Conference on Earthquake Engineering.
- Tierney K (1997) Business impacts of the Northridge earthquake. J Conting Crisis Manag 5(2):87–97. <https://doi.org/10.1111/1468-5973.00040>
- Valdiviezo Briones R J (2019) Tesis de Licenciatura: El desastre natural y su impacto socioeconómico en los comerciantes minoristas del mercado central de la ciudad de Portoviejo. Manabí: UNESUM

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Terms and Conditions

Springer Nature journal content, brought to you courtesy of Springer Nature Customer Service Center GmbH (“Springer Nature”).

Springer Nature supports a reasonable amount of sharing of research papers by authors, subscribers and authorised users (“Users”), for small-scale personal, non-commercial use provided that all copyright, trade and service marks and other proprietary notices are maintained. By accessing, sharing, receiving or otherwise using the Springer Nature journal content you agree to these terms of use (“Terms”). For these purposes, Springer Nature considers academic use (by researchers and students) to be non-commercial.

These Terms are supplementary and will apply in addition to any applicable website terms and conditions, a relevant site licence or a personal subscription. These Terms will prevail over any conflict or ambiguity with regards to the relevant terms, a site licence or a personal subscription (to the extent of the conflict or ambiguity only). For Creative Commons-licensed articles, the terms of the Creative Commons license used will apply.

We collect and use personal data to provide access to the Springer Nature journal content. We may also use these personal data internally within ResearchGate and Springer Nature and as agreed share it, in an anonymised way, for purposes of tracking, analysis and reporting. We will not otherwise disclose your personal data outside the ResearchGate or the Springer Nature group of companies unless we have your permission as detailed in the Privacy Policy.

While Users may use the Springer Nature journal content for small scale, personal non-commercial use, it is important to note that Users may not:

1. use such content for the purpose of providing other users with access on a regular or large scale basis or as a means to circumvent access control;
2. use such content where to do so would be considered a criminal or statutory offence in any jurisdiction, or gives rise to civil liability, or is otherwise unlawful;
3. falsely or misleadingly imply or suggest endorsement, approval, sponsorship, or association unless explicitly agreed to by Springer Nature in writing;
4. use bots or other automated methods to access the content or redirect messages
5. override any security feature or exclusionary protocol; or
6. share the content in order to create substitute for Springer Nature products or services or a systematic database of Springer Nature journal content.

In line with the restriction against commercial use, Springer Nature does not permit the creation of a product or service that creates revenue, royalties, rent or income from our content or its inclusion as part of a paid for service or for other commercial gain. Springer Nature journal content cannot be used for inter-library loans and librarians may not upload Springer Nature journal content on a large scale into their, or any other, institutional repository.

These terms of use are reviewed regularly and may be amended at any time. Springer Nature is not obligated to publish any information or content on this website and may remove it or features or functionality at our sole discretion, at any time with or without notice. Springer Nature may revoke this licence to you at any time and remove access to any copies of the Springer Nature journal content which have been saved.

To the fullest extent permitted by law, Springer Nature makes no warranties, representations or guarantees to Users, either express or implied with respect to the Springer nature journal content and all parties disclaim and waive any implied warranties or warranties imposed by law, including merchantability or fitness for any particular purpose.

Please note that these rights do not automatically extend to content, data or other material published by Springer Nature that may be licensed from third parties.

If you would like to use or distribute our Springer Nature journal content to a wider audience or on a regular basis or in any other manner not expressly permitted by these Terms, please contact Springer Nature at

onlineservice@springernature.com

**CASO DE ESTUDIO: PÉRDIDAS EN LOS
NEGOCIOS DEL MERCADO MUNICIPAL DE
JUCHITÁN DE ZARAGOZA DEBIDAS A LOS
DAÑOS EN EL INMUEBLE CAUSADOS POR EL
SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017**

En este capítulo se identifican los daños en el inmueble del mercado municipal de Juchitán de Zaragoza durante el sismo ocurrido el 7 de septiembre de 2017 y posteriormente se detalla su reconstrucción. Asimismo, se presenta un informe estadístico sobre una encuesta aplicada en noviembre de 2020 a 165 negocios establecidos en el mercado para estimar las pérdidas económicas directas y por interrupción de sus actividades que experimentaron por la inoperatividad del edificio a causa del evento destructivo. En el anexo C5 se presenta un artículo sometido, para su posible publicación, en marzo de 2022 a la revista “Natural Hazards” (Ortiz et al., [2022](#)), el cual se derivó del presente capítulo.

5.1 INTRODUCCIÓN

5.1.1 Breve descripción del problema

El sismo de Chiapas de Mw8.2 del 7 de septiembre de 2017 afectó a las distintas infraestructuras de varios estados de la República Mexicana, entre ellos Chiapas, Tabasco, Veracruz, Estado de México, Ciudad de México y Oaxaca (Archundia et al., [2018](#); Pozos-Estrada et al., [2019](#); Tapia y García, [2019](#); Aguilar et al., [2020](#); Guzman et al. [2020](#)). Particularmente, Juchitán de Zaragoza fue el municipio de Oaxaca que más perjuicios sufrió a causa de este evento destructivo, ya que miles de viviendas, la iglesia, el ayuntamiento, varias instituciones educativas y cientos de edificios comerciales sufrieron daños severos o un colapso parcial o total. Se observó que el sector empresarial fue gravemente perjudicado, lo cual representó un gran problema socioeconómico, debido a que, en la actualidad, los negocios de todo tipo y tamaño son esenciales para el funcionamiento de cada comunidad y la fuerza económica de un país, ya que generan empleos, pagan impuestos o proveen bienes y servicios, por lo que, cuando no pueden reanudar sus actividades tras la catástrofe, se limitan los medios de subsistencia individuales y comunitarios, lo cual conlleva a una demora considerable en la recuperación de las zonas afectadas (Chang y Lotze, [2014](#); FEMA, [2015](#); Ortiz et al., [2020](#)). En tal sentido, lo ocurrido con las unidades económicas del mercado municipal de Juchitán representa un interesante caso de estudio.

5.1.2 Impacto en los negocios por algunos sismos históricos

Los sismos destructivos, además de las muertes y heridos que causan, siempre han derivado grandes problemas sociales y económicos, entre ellos, impactos negativos en las unidades económicas, tales como elevadas pérdidas económicas por los daños estructurales y no estructurales en los edificios, así como en sus contenidos. Estas afectaciones directas también han provocado que los negocios se vean forzados a interrumpir sus operaciones y, por consiguiente, que dejen de tener ganancias. Sin embargo, también se ha observado que el cese se ha producido sin que los edificios hayan resultado dañados. Inclusive, se ha registrado que algunas empresas han sufrido una disminución en sus ingresos sin haber cerrado a causa del sismo y que tal efecto se ha debido a la falta clientes tras el desastre a gran escala (Arce et al., 2014; Ortiz y Reinoso, 2019; Ortiz et al., 2021).

“Todas las unidades económicas deben tomar en cuenta todos los peligros a las que se encuentran expuestas para mantenerse razonablemente en funcionamiento. Es crucial que incorporen a sus decisiones comerciales y de planificación, soluciones prácticas de mitigación” (FEMA, 2015). Se ha demostrado que las microempresas y las pequeñas empresas son más vulnerables a riesgos naturales que las más grandes (Lo et al., 2021), sin embargo, ha quedado evidenciado que aquellas que cuentan con experiencia previa en desastres y problemas de flujo de efectivo tienen menos probabilidad de desaparecer tras un nuevo evento catastrófico (Marshall et al., 2015).

Se han realizado investigaciones sobre las consecuencias comerciales de los terremotos más catastróficos en California, incluido el de Coalinga de 1983 (Durkin, 1984; French et al., 1984), Loma Prieta de 1989 (Kroll et al., 1991) y Northridge de 1994 (Gordon et al., 1995; Boarnet, 1998). De acuerdo con una encuesta realizada por Tierney (1997), se registró que debido a este último evento las cuatro principales razones por las que las empresas cerraron temporalmente fueron: 1) pérdida de electricidad (58.7 %), 2) incapacidad de los empleados para llegar al negocio (56.4 %), 3) daños en la casa del propietario (44.4 %) y 4) pérdida de clientes (40%). También existe un estudio basado en una encuesta en la que se estimaron las pérdidas directas y por interrupción de negocios que enfrentó la industria tras el terremoto de Kocaeli, Turquía de 1999 (Durukal y Erdik, 2008) y en otro trabajo se estimó el impacto económico de Shifang provocado por la interrupción de la red de carreteras como resultado del sismo de Wenchuan ocurrido en 2008, demostrándose que la falla de la red vial conduce directamente a impactos de interrupción del negocio en el sector del transporte por carretera, que posteriormente desencadena un efecto dominó en otros sectores debido a la interdependencia económica (Shi et al., 2015).

Asimismo, con base en la recolección de datos de 541 organizaciones afectadas por los terremotos en Canterbury, se registró que el impacto más disruptivo en estos se debió a los problemas que tuvieron que enfrentar los clientes, y también, se evidenció que aquellas unidades económicas que alquilaban un edificio se recuperaron un poco mejor con respecto a las que eran propietarias del local (Brown et al., 2015). Por otra parte, con base en una encuesta aplicada a 226 minoristas del mercado central de Portoviejo, el 22% no pudo ofrecer sus productos entre 1 y 15 días debido al terremoto ocurrido el 16 de abril de 2016 en Ecuador, mientras que 46% fue de 16 a 30 días y 32% fue por más de 30 días (Valdiviezo, 2019). Adicionalmente, se observó que, derivado de los sismos de septiembre de 2017 en México, de 2,041 millones de negocios, 39.3% suspendió actividades en algún momento, de los cuales 43.2% fue por un día hábil, 23.4% por dos días, 10.8% por tres días y al menos 22.6% por más de tres días (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017). También se realizó un análisis de los daños a viviendas y edificios

comerciales por el terremoto de Puebla del 19 de septiembre de 2017, observándose que, en la Ciudad de México, las edificaciones entre 1 y 10 niveles y que se construyeron entre las décadas de 1960 y 1980 fueron las más afectadas (Buendía y Reinoso, 2019) y en otra investigación se identificaron las razones de cierre de los negocios en la Ciudad de México por este evento, registrándose que los cortes de energía eléctrica, la inspección post-sísmica de los inmuebles, las complicaciones en las vías de acceso, el colapso de edificios vecinos con víctimas humanas, entre otros, causaron una potencial paralización empresarial (Ortiz y Reinoso, 2020).

Recientemente, se desarrolló un marco analítico para modelar los tiempos de recuperación de las empresas luego de los eventos sísmicos considerando múltiples tiempos de inactividad, como la recuperación del edificio, la interrupción de la comunidad en general y las tácticas de mitigación empleadas por las empresas utilizando información de 22 unidades económicas afectadas por el terremoto de Mw 6.1 de 2011 en Christchurch, Nueva Zelanda (Cremen et al., 2020). Además, se realizó un modelo probabilístico para cuantificar y predecir la recuperación de los negocios mediante una regresión lineal bayesiana, teniendo en cuenta la interacción entre hogares y empresas, que se aplicó en una comunidad de Lumberton, Carolina del Norte, la cual fue profundamente impactada por el huracán Matthew en 2016 (Aghababaei, 2020).

5.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación científica tiene un enfoque mixto. Es cualitativa, debido a que se registró la patología del mercado de Juchitán con base en investigaciones de campo, mientras que también es cuantitativa, puesto que se realizó un informe estadístico sobre las afectaciones a los negocios de este inmueble a causa del sismo del 7 de septiembre de 2017.

5.2.1 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Se efectuó una observación directa, además de que se aplicaron entrevistas estructuradas a Ingenieros Civiles con la finalidad de recabar los daños en el edificio del mercado de Juchitán durante el sismo y conocer cómo fue rehabilitado este inmueble, siendo necesario para tales fines un dispositivo para tomar fotografías y grabar. Asimismo, en noviembre de 2020 se realizó una encuesta de forma presencial a dueños o empleados de negocios del mercado para determinar cómo fueron afectados por el sismo, requiriéndose de un cuestionario con preguntas cerradas, breves y objetivas. Finalmente, el análisis documental nos permitió la recopilación de información de revistas científicas, informes técnicos, periódicos, entre otros, empleándose como instrumento la ficha de registro de datos.

5.2.2 Población y tamaño de la muestra

Por otra parte, de acuerdo con el representante de los locatarios, el mercado de Juchitán de Zaragoza ubicado en Oaxaca tiene la capacidad de albergar aproximadamente 1082 negocios, incluyendo los establecidos en las banquetas adjuntas al inmueble. Sin embargo, a causa de la pandemia del COVID-19, cuando se efectuó la investigación de campo sólo se encontraba operando alrededor del 70%. Por consiguiente, en este trabajo se ha considerado una población total de 758 unidades económicas. Para

calcular el tamaño de la muestra representativa se empleó la siguiente ecuación para población con tamaño finito:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z_\alpha^2}{e^2(N-1) + \sigma^2 Z_\alpha^2} \quad (5.1)$$

donde:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

σ = desviación estándar de la población. Usualmente se le asigna un valor de 0.5 para ser conservador.

Z_α = cantidad de desviaciones estándar que una proporción determinada se aleja de la media. Para un nivel de confianza de 95% corresponde un valor de 1.96.

e = límite aceptable de error muestral. Suele utilizarse un valor que varía entre el 1% y 9%. En este caso se considera un margen de 6.77%.

Por consiguiente,

$$n = \frac{(758)(0.5^2)(1.96^2)}{(0.0677^2)(758-1) + (0.5^2)(1.96^2)} = \frac{727.9832}{4.6687} \approx 165$$

En consecuencia, se encuestaron a 165 negocios, tal como se muestra en la Tabla 5.1. Se empleó un tipo de muestreo aleatorio, por lo que todos los elementos de la población tuvieron la posibilidad de ser escogidos en la muestra.

Tabla 5.1 Número y distribución porcentual de negocios considerados en la encuesta de acuerdo con el tipo de producto o servicio que ofrecen

Tipo de negocio	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Porcentaje (%)
Artesanías típicas de la región	29	0.18	17.58
Bebidas o alimentos	38	0.23	23.03
Carne de res o de puerco, pollo o mariscos	39	0.24	23.64
Frutas o verduras	9	0.05	5.45
Vestimenta o calzado	36	0.22	21.82
Papelería	3	0.02	1.82
Otro	11	0.07	6.67
Total	165	1.00	100.00

5.3 PATOLOGÍA DEL MERCADO DE JUCHITÁN

5.3.1 Estructuración del inmueble

El palacio municipal de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca fue construido en el siglo XIX y abarcaba toda la cuadra respectiva. A principios del siglo XX se decidió ubicar un mercado público utilizando la

INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE MÉXICO PRODUCIDA POR EL SISMO DEL 19S DE 2017

infraestructura de este inmueble techando el patio central y convirtiendo las accesorias de la planta baja en locales comerciales. Sin embargo, en el año de 1970 se incendió este mercado, por lo que se dañó una parte de la estructura del palacio. Una vez demolida la zona que había sido afectada, se construyó ahí el edificio que en la actualidad se conoce como mercado 5 de septiembre, el cual se inauguró en enero de 1973.

El edificio del mercado consiste en un sistema estructural a base de marcos de concreto reforzado de dos niveles. Tiene una planta en forma trapezoidal, de modo que en el lado más ancho dispone de 6 ejes longitudinales y en el más angosto de 5. Por el lado transversal cuenta con 18 ejes, resultando en total 85 columnas.

Las columnas están apoyadas sobre zapatas aisladas ligadas con trabes, mientras que la losa de entrepiso es aligerada en todo el perímetro y en un tramo central, además de que en el sentido transversal liga los tramos longitudinales dejando dos áreas libres en la planta de la losa. En tanto, la losa de la azotea dispone de una geometría novedosa debido a las formas piramidales y al uso de presfuerzos en el sentido corto. Asimismo, los muros perimetrales son de tabique rojo recocido de la región del Istmo, se apoyan sobre zapatas corridas y están colados monolíticamente con las columnas, de tal forma que no se liga la losa de entrepiso.

5.3.2 Tiempo inactivo de ocupación del edificio

Debido a que el inmueble presentó un nivel de daño global severo a causa del sismo ocurrido el 7 de septiembre de 2017, quedó inhabilitado por un poco más de dos años y dos meses hasta su reconstrucción, de modo que los negocios no pudieron operar ahí durante ese período. En la Figura 5.1 se muestra un diagrama de Gantt con las actividades que se llevaron a cabo para poder reabrir el mercado.

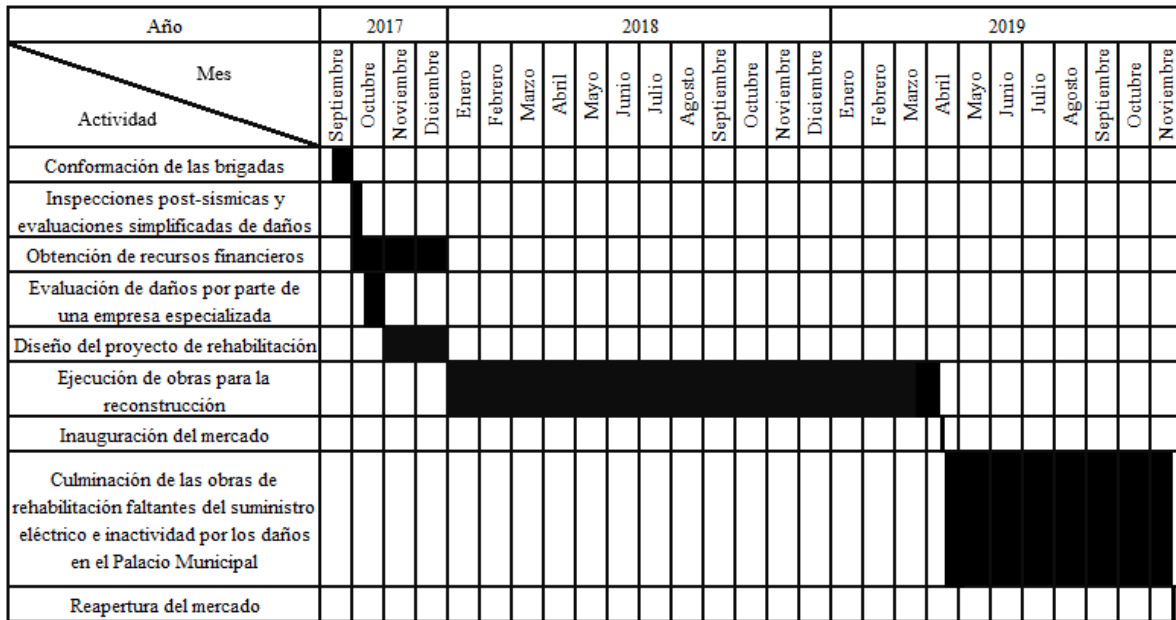


Figura 5.1 Diagrama de Gantt que muestra las actividades realizadas para lograr la reapertura del mercado de Juchitán

De acuerdo con una entrevista estructurada aplicada al Director Responsable de Obra, las tareas para la recuperación de la operatividad del edificio comenzaron en septiembre de 2017 con la convocatoria del gobierno municipal a ingenieros civiles y arquitectos para conformar un grupo de trabajo en aras de la reconstrucción en Juchitán de Zaragoza. En octubre de 2017 quedó conformada la Coordinación de Reconstrucción Municipal, la cual se encargó de efectuar inspecciones post-sísmicas y evaluaciones simplificadas de daños en el mercado y otros inmuebles del municipio que habían sido afectados por el sismo de Chiapas, además, en este mes el gobierno local solicitó apoyo económico a los gobiernos estatal y federal para rehabilitar el mercado. Asimismo, durante estos dos meses, simultáneamente se apuntalaron las áreas cercanas a las columnas principales del edificio.

Una evaluación de la seguridad estructural más detallada en el inmueble fue realizada en octubre por una empresa especializada en rehabilitación, la cual dictaminó la viabilidad de la reconstrucción del mercado, en contraste con la opinión de otros ingenieros y la mayoría de los locatarios, quienes sugerían su demolición. Los daños estructurales y no estructurales identificados en el edificio se describen detalladamente en el subtema 3.3. Entre noviembre y diciembre de 2017 se llevaron a cabo los acuerdos entre todas partes implicadas (gobierno, locatarios, empresa constructora y financiadores) y de manera simultánea se realizó el diseño del proyecto de rehabilitación, además de que se efectuaron los trabajos de limpieza y retiro de escombros.

Tras el apoyo financiero de distintas fundaciones y donativos de empleados de empresas, en enero de 2018 comenzó la ejecución de las obras para la reconstrucción del mercado, las cuales se describen minuciosamente en el subtema 3.4. Durante este mes se hizo un apuntalamiento de la losa de entrepiso empleando polines de madera. Asimismo, en enero y febrero se demolieron los muros perimetrales y se prepararon las zapatas y columnas con el fin de volver a reforzarlas con varillas de acero y colarlas con concreto, incluyendo los capiteles de la losa de entrepiso. El 10 de diciembre de 2018 se reportó la culminación del encamisado de todas las columnas. En general, a finales de este mes se indicó que el inmueble llevaba 85% de avance total en su reconstrucción, no solo considerando la parte estructural, sino que también la arquitectónica, hidro-sanitaria y eléctrica, así como el acondicionamiento de los locales comerciales.

Aunque el 11 de abril de 2019 se inauguró el mercado rehabilitado en Juchitán, no se abrió al público debido a que hacía falta concluir la rehabilitación eléctrica y también por cuestiones de seguridad, dado que las obras de rehabilitación del palacio municipal localizado adjuntamente aún no realizaban, por consiguiente, locatarios continuaron ofreciendo sus productos o servicios de forma provisional principalmente en el parque central Benito Juárez.

Finalmente, con el financiamiento de los locatarios fue posible terminar de rehabilitar el suministro eléctrico y ante la necesidad económica, un poco más de 800 negocios reiniciaron actividades en el inmueble del mercado de Juchitán el 23 de noviembre de 2019, pese a que el palacio municipal no estaba rehabilitado.

5.3.3 Daños en el inmueble

Como se muestra en la Figura 5.2, las columnas se dañaron severamente debido al efecto de columna corta, el cual consiste en una restricción parcial del desplazamiento lateral del elemento estructural, que obliga a concentrar toda la demanda de esfuerzos y deformaciones en su porción libre, que son

sustancialmente mayores con respecto a los que se presentarían en la misma columna si esta estuviese libre en toda su altura. Se observó que este problema ocurrió debido a que los muros no estructurales de mampostería no abarcaban toda la altura de las respectivas columnas, sino que había espacios vacíos, en algunos casos para las ventanas. Entre los efectos locales que produjo el problema de columna corta fueron el incremento de la rigidez lateral y de los esfuerzos por cortante, así como la disminución de la ductilidad. Los efectos globales se derivaron de la incompatibilidad de deformaciones entre las columnas cortas y el resto de los miembros estructurales resistentes a acciones laterales, puesto que las primeras fallaron prematuramente y se generaron una reacción en cadena (Beauperthuy y Urich, 2011).



Figura 5.2 Efecto de columna corta en columnas del edificio del mercado de Juchitán

Asimismo, en la esquina nororiente hubo hundimiento de zapata, lo cual hizo fallar la trabe presforzada del segundo nivel, por lo que se produjo un desnivel aproximado en la zona de esquina de 10 a 15 cm con respecto a la horizontal. En la Figura 5.3 se muestra una falla por cortante de una viga, la cual se caracteriza por la presencia de grietas diagonales. Por otra parte, en la Figura 5.4 se muestran algunos daños no

estructurales, tales como rotura de ventanas, desprendimiento de acabados y agrietamiento por cortante en muros no estructurales.



Figura 5.3 Asentamiento en el inmueble del mercado de Juchitán, el cual produjo daños en el entrepiso



a)



b)

Figura 5.4 Daños no estructurales en el mercado de Juchitán: a) desprendimiento de acabados y rotura de ventanas; b) agrietamiento por cortante en muro no estructural

5.3.4 Rehabilitación del edificio

De acuerdo con lo observado, el edificio del mercado de Juchitán de Zaragoza quedó rehabilitado aproximadamente un año y medio después de la ocurrencia del sismo del 7 de septiembre de 2017, sin embargo, los negocios volvieron a operar en esta construcción a un poco más de dos años después del evento catastrófico. Debido a los daños muy severos, fue necesaria una reconstrucción del inmueble, lo cual requirió de una inversión superior a los 35 millones de pesos mexicanos. A continuación, se mencionan algunas actividades que se llevaron a cabo para recuperar la funcionalidad del edificio:

- 1) Para rehabilitar las columnas de la planta baja y del primer piso se empleó la técnica de encamisado, que de acuerdo con Ayala y Giraldo (2018) consiste en una forma de reforzar un elemento estructural que ha sufrido cambios en su capacidad resistente, aumentando su sección envolviéndolo con una sección adicional de concreto convenientemente armado, con la finalidad de aumentar su capacidad de carga frente a compresión, flexión, cortante y torsión, garantizando el trabajo simultáneo entre diferentes elementos. Lo anterior con el objetivo de cumplir con lo establecido en la normatividad vigente (resistencia, factores de seguridad, calidad de los materiales, funcionalidad y vida útil). El proceso constructivo se muestra en la Figura 5.5 y consistió en lo siguiente:
 - Apuntalamiento de la losa del primer nivel.
 - Excavación (en la planta baja esta actividad se realizó para la recimentación).
 - Escarificado de las columnas dañadas con equipo mecánico y herramienta manual (Figura 5.5a).
 - Habilitado y armado de acero para la nueva zapata conectada a las columnas de la planta baja (Figura 5.5b).
 - Habilitado y armado de acero para las columnas (Figura 5.5c).
 - Cimbrado de las columnas (Figura 5.6d).
 - Colado de las columnas cuya sección definitiva fue de 50x80 cm o 55x55 cm. Se usó concreto premezclado de CEMEX con una resistencia a la compresión de $f'c=300$ kg/cm² (Figura 5.7e).
 - Relleno de la excavación con concreto ciclópeo en las columnas del primer piso.
- 2) Se retiró el impermeabilizante anterior, se repararon las grietas existentes y se efectuó la impermeabilización de los lechos superior e inferior en la losa de azotea y de las vigas de borde aplicándose cuatro capas: sellador, impermeabilizante preliminar, cuadrímalla e impermeabilizante para sellar poro final.
- 3) Construcción de una cisterna y un cuarto de máquinas, Figura 5.6.
- 4) Se construyeron cartelas ubicadas únicamente en las columnas de 50x80 cm, empleándose concreto de CEMEX con $f'c=300$ kg/cm².
- 5) Como se muestra en la Figura 5.7, se construyeron varias barras de concreto para las mesas de los negocios.
- 6) Diversos trabajos en las fachadas oriente, poniente, sur y norte, entre ellos la construcción de:
 - Contratabes
 - Muros de ladrillo
 - Trabes de liga
 - Zapatas corridas
 - Muros de contención con concreto premezclado Cemex de $f'c=250$ kg/cm²
 - Muros de celosía
 - Cadenas intermedias
 - Castillos
 - Muros de enrase



Figura 5.5 Etapas del proceso constructivo para el encamisado de las columnas del edificio del mercado de Juchitán: a) escarificado; b) habilitado y armado de acero para la nueva zapata; c) habilitado y armado de acero para la columna; d) cimbrado; e) colado

7) Para la reconstrucción de los locales comerciales en la planta baja y el primer piso (Figura 5.8), se requirió efectuar las siguientes actividades:

- Construcción de muros divisorios (Figura 5.8a).
- Construcción de muros cortos para las mesas de los locales.
- Colocación de piso usando como refuerzo malla electrosoldada.
- Colocación de Armex de 10x15 cm (2m de altura) al final de los muros de los locales por el lado exterior en el primer piso. El Armex fue traslapado a cuatro varillas del número tres, las cuales se anclaron a la losa de entrepiso.
- Trabajos de herrería (Figura 5.8b), tales como la colocación de postes, rejillas y cortinas metálicas, soldadura de antepechos a los postes y aplicación de pintura gris y blanca.

INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE MÉXICO PRODUCIDA POR EL SISMO DEL 19S DE 2017

- Con respecto a la instalación eléctrica (Figura 5.8c), se colocó canal en todos los locales, cada uno con dos chalupas para contactos polarizados y apagadores. Fue de dos circuitos y se usó tubería galvanizada. Los voltajes que se tomaron en cuenta para los interruptores fueron de 120 y 220 volts.



Figura 5.6 Cimbrado de la losa superior de la cisterna y del cuarto de máquinas



Figura 5.7 Construcción de barras para mesas de los negocios



a



b



c

Figura 5.8 Actividades para la reconstrucción de los locales: a) construcción de muros divisorios; b) trabajos de herrería; c) instalación eléctrica

- 8) Demolición del piso y algunas paredes en las dos plantas, de la banqueta de la fachada norte y de la escalera del lado poniente, así como desprendimiento de la celosía en la planta alta.
- 9) Reconstrucción de los sanitarios.
- 10) Instalación hidráulica, en la cual se usó CPVC de 1 ¼ de diámetro.
- 11) Instalación sanitaria en los baños usando tubería pvc de 2'' y 4'' para desagüe de aguas jabonosas de lavabos y de tubería de 4'' y 6'' para conexión a WC.

5.4 REPORTE ESTADÍSTICO DE LAS AFECTACIONES A LOS NEGOCIOS DEL MERCADO DE JUCHITÁN DE ZARAGOZA DEBIDAS AL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DEL 2017

5.4.1 Pérdidas directas en los negocios

Para fines de esta investigación, las pérdidas directas en los negocios se definen como los daños en los activos tangibles (productos de venta, mobiliario, equipo, maquinaria o alguna otra propiedad, a excepción del edificio) causados directamente por el sismo, así como el robo o extravío de estos tras la evacuación del inmueble. También se incluyen los productos que, aunque no se dañaron por el sismo, se echaron a perder debido a la paralización de las actividades empresariales.

De los 165 negocios encuestados, 36.36% declaró que el sismo ocurrido el 7 de septiembre del 2017 no provocó directamente daños en sus activos tangibles, mientras que 60% indicó que sí los hubo. Por otra parte, se registraron cinco casos sin respuesta y un negocio que aún no operaba durante el evento catastrófico (no aplica), lo cual representó 3.64% del total.

Como se muestra en la Figura 5.9, únicamente 7 unidades económicas no tuvieron pérdidas directas (4.24%), por el contrario, 83 negocios estimaron que esta pérdida económica fue de \$3000 MXN o menos (50.30%), en tanto, 61 negocios consideraron que fue por más de \$3000 MXN (36.97%).

5.4.2 Pérdidas por interrupción de las actividades

Para fines de esta investigación, las pérdidas por interrupción de las actividades se definen como las ganancias que dejaron de tener las unidades económicas durante el tiempo que no pudieron ofrecer sus productos o servicios en ningún sitio.

De acuerdo con la encuesta aplicada, la mayoría de los locatarios se vieron forzados a reubicar sus negocios predominantemente en la plaza principal de Juchitán y excepcionalmente en sus hogares debido a la necesidad de una reactivación económica, en vez de esperar hasta que el edificio del mercado de Juchitán recuperara su funcionalidad. Se registró que solamente 12.12% de los 165 negocios considerados en la investigación no tuvo la posibilidad de ofrecer sus productos o servicios de forma provisional en otro sitio mientras se rehabilitaba el inmueble.

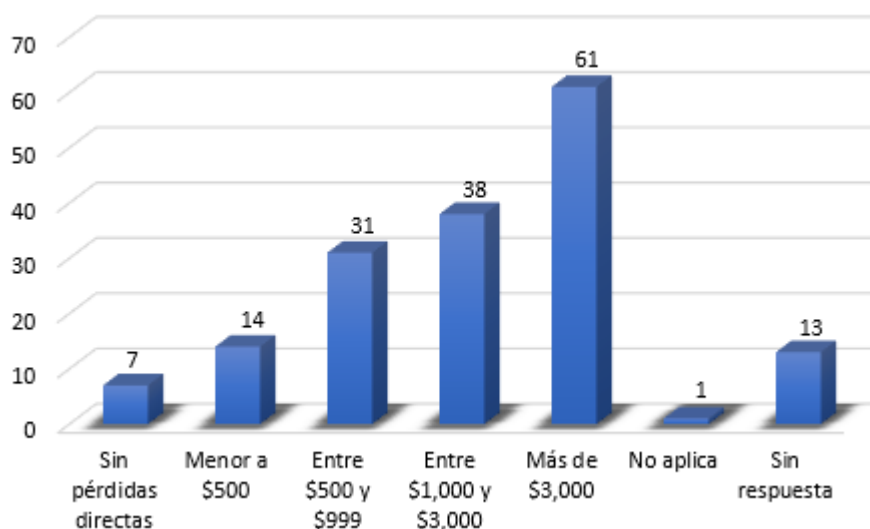


Figura 5.9 Número de negocios según la pérdida directa estimada (en pesos mexicanos) por el sismo

Con respecto al tiempo que los negocios estuvieron sin poder operar, prevalecieron aquellos con una inactividad de 8 a 30 días, siendo la frecuencia absoluta de 71 (43.03%), en cambio, únicamente se presentaron 13 casos en los que esto ocurrió entre 1 y 7 días (7.88%). Otra respuesta recurrente fue aquella en la que se indicó que la paralización de las operaciones fue desde 31 hasta 90 días, debido a que esto sucedió en 44 ocasiones (26.67%). Inclusive, 31 negocios aseguraron que no pudieron ofrecer sus productos o servicios por más de 90 días (18.79%). En la Figura 5.10 se muestra la respectiva estructura porcentual.

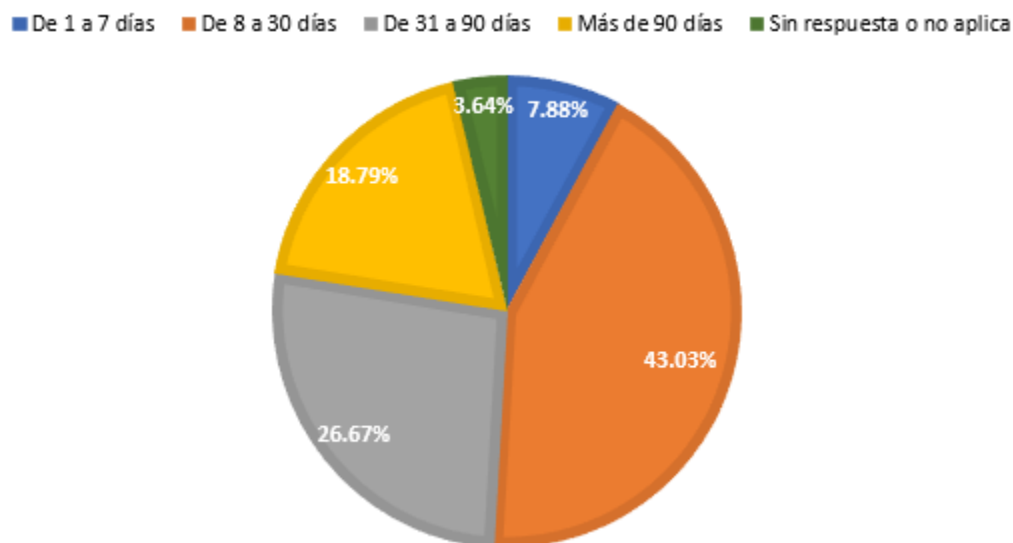


Figura 5.10 Estructura porcentual de los negocios de acuerdo con el número de días que suspendieron sus actividades

En la Figura 5.11 se muestra el número de establecimientos económicos acorde con la pérdida por interrupción de las actividades empresariales. Se puede inferir que aproximadamente un tercio de los

negocios encuestados estimó que dejaron de ganar más de \$3000 MXN durante el tiempo en el que no pudieron operar, mientras que un poco menos de otra tercera parte de la muestra representativa consideró que fue entre \$1000 MXN y \$3000 MXN.

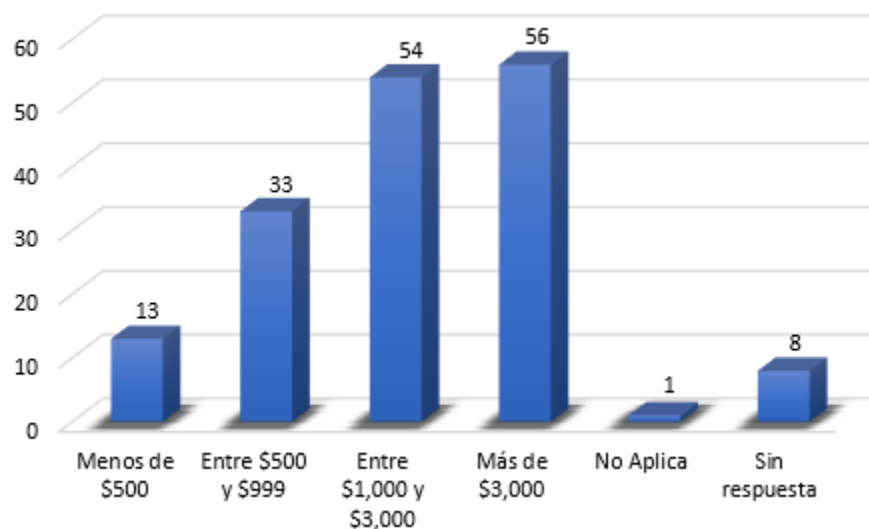


Figura 5.11 Número de negocios acorde con la pérdida estimada (en pesos mexicanos) durante el tiempo que no pudieron operar

5.4.3 Recuperación de las unidades económicas

Otro aspecto abordado en la encuesta fue la recuperación de los negocios. En primera instancia, fue de interés conocer la estrategia implementada por los locatarios para tratar de mantener o aumentar sus ganancias habituales tras la reapertura de su unidad económica. Como se muestra en la Tabla 5.2, principalmente se indicó que los precios de venta de los productos o servicios ofrecidos tuvieron que ser modificados y únicamente hubo siete respuestas en las que se señaló que no se efectuó ninguna estrategia.

Tabla 5.2 Número y distribución porcentual de negocios de acuerdo con la estrategia implementada para tratar de mantener o aumentar el nivel de ganancias habitual una vez efectuaron su reapertura

Alternativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Porcentaje (%)
Aumentar publicidad	48	0.29	29.09
Incorporar nuevos productos o servicios	23	0.14	13.94
Modificar precios de venta	56	0.34	33.94
Realicé dos de las estrategias anteriores o todas	23	0.14	13.94
Realicé otra estrategia	1	0.01	0.61
Ninguna	7	0.04	4.24
No Aplica	1	0.01	0.61
Sin respuesta	6	0.04	3.64
Total	165	1.00	100

Por otra parte, de acuerdo con la investigación de campo, se registraron 116 respuestas indicando que no se recibió ningún incentivo para poder reactivar el respectivo negocio (70.30%), por el contrario 21, 17 y 5 locatarios afirmaron, de forma correspondiente, que recibieron un préstamo bancario (12.73 %), un apoyo económico de un familiar o conocido (10.30%) y un apoyo financiero del gobierno (3.64%). Asimismo, no se obtuvo respuesta de 5 encuestados, además de que la pregunta no aplicó para un negocio que indicó que aún no estaba establecido en el mercado cuando ocurrió el sismo (3.03%). La estructura porcentual se muestra en la gráfica de la Figura 5.12.

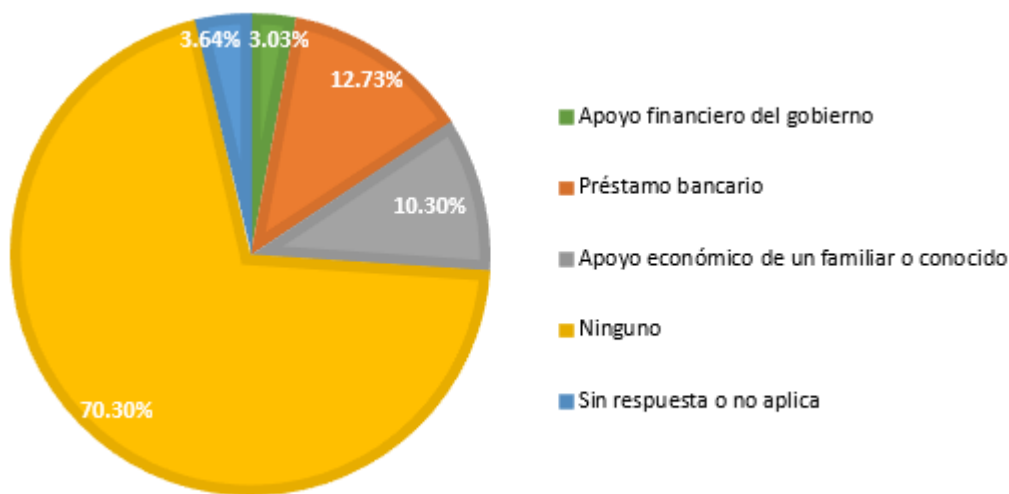


Figura 5.12 Estructura porcentual de los negocios conforme al incentivo principal que recibieron para su reactivación después del sismo

Con relación a cómo fueron las ventas durante el primer mes en el que los negocios volvieron a estar en funcionamiento (Figura 5.13), la mayoría coincidió en que las ventas disminuyeron (92.12%). Particularmente, prevalecieron aquellos que consideraron que esta situación fue de manera significativa, siendo la frecuencia absoluta de 77 para esta alternativa (46.67%).

Asimismo, predominaron los encuestados que percibieron que sus ganancias disminuyeron durante el primer mes en el que su negocio volvió a operar (57.58%), seguidos de los que dejaron de tener ganancias (36.97%) y solamente una minoría indicó que sus ganancias aumentaron (1.82%). Además, 5 miembros de la muestra representativa optaron por no responder (3.03%) y este caso no aplicó para un negocio (0.61%). En la Figura 5.14 se muestra la correspondiente frecuencia absoluta.

Finalmente, en la encuesta fue de interés conocer en cuánto tiempo los negocios recuperaron su nivel habitual de ganancias (el que tenían antes de la ocurrencia del sismo) tras su reapertura. Como se muestra en la Figura 5.15, prevalecieron aquellos que percibieron que aún no recuperaban sus ganancias habituales en el momento de haberles aplicado la encuesta (40.61%). Por el contrario, 13.94%, 24.24% y 17.58% del total de la muestra representativa indicó de forma respectiva que tardaron en recuperar sus ganancias habituales entre 1 y 30 días, de 31 a 90 días y en más de 90 días.

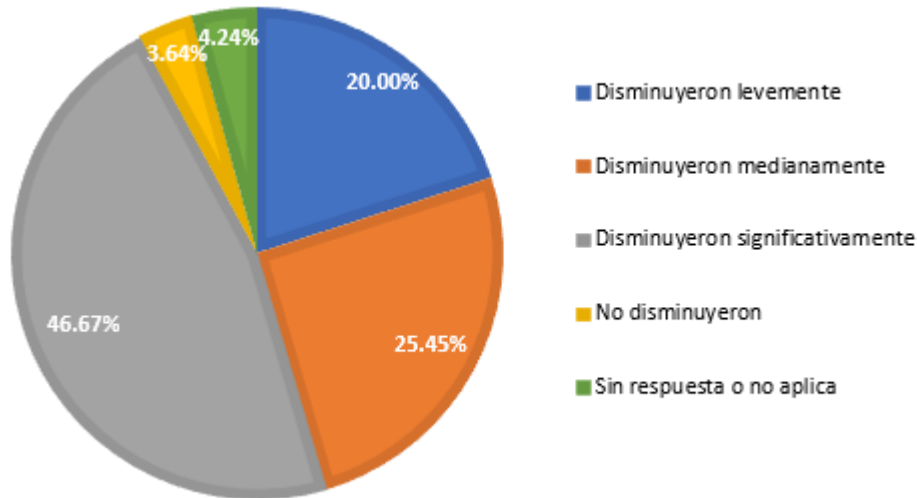


Figura 5.13 Estructura porcentual de los negocios con respecto a cómo fueron sus ventas durante el primer mes en el que pudieron ofrecer sus productos o servicios

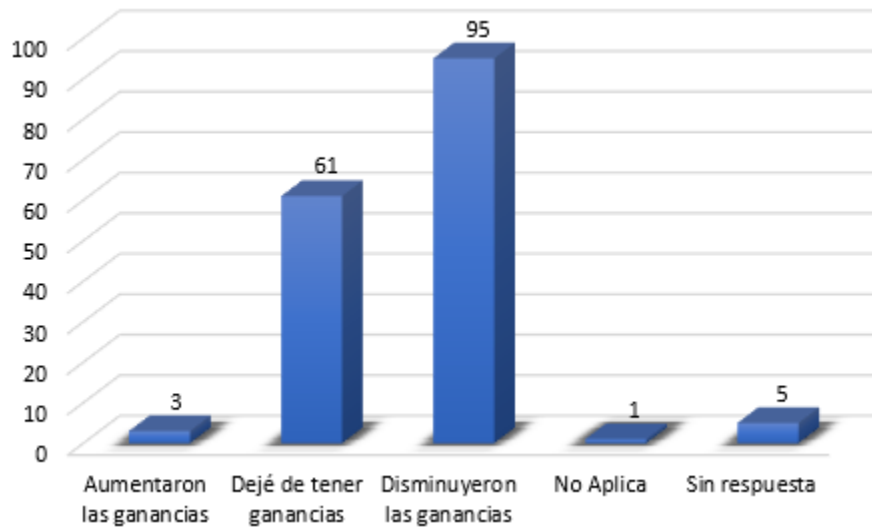


Figura 5.14 Número de negocios según su percepción sobre cómo fueron sus ganancias durante el primer mes que volvieron a operar

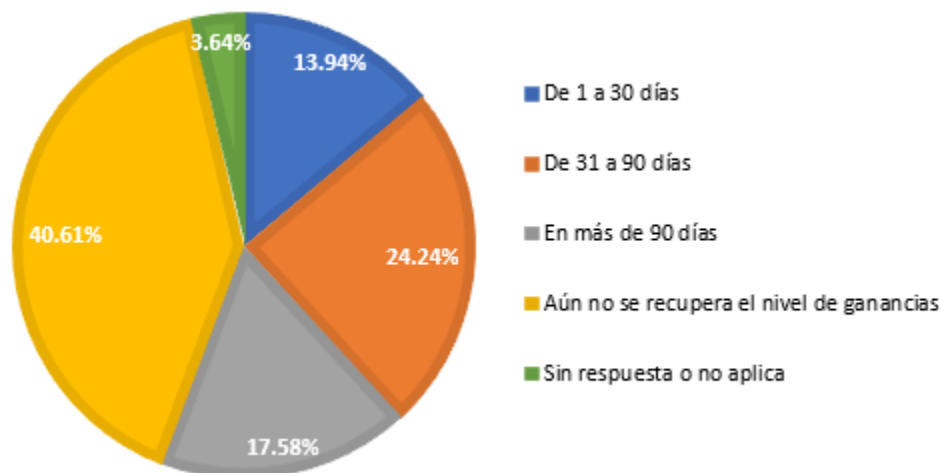


Figura 5.15 Estructura porcentual de los negocios acorde con su percepción acerca del tiempo que tardaron en recuperar su nivel habitual de ganancias a partir de que efectuaron su reapertura

5.5 COMENTARIOS DEL CAPÍTULO 5

Lo presentado en este capítulo permitió mostrar que en la actualidad sigue habiendo construcciones altamente vulnerables sísmicamente, las cuales al dañarse no sólo pueden propiciar elevadas pérdidas directas, sino que también grandes pérdidas por la paralización de las actividades empresariales, tal como sucedió con el mercado de Juchitán. Con el presente estudio se pretende alertar a los locatarios acerca de estos riesgos, así como generar conocimientos que sean útiles para formular estrategias que minimicen las pérdidas económicas por sismo en los negocios. Este problema socioeconómico, de política e ingeniería puede resolverse con la colaboración de todos los sectores, por consiguiente, se sugiere lo siguiente:

- Un constante monitoreo y mantenimiento no sólo del edificio del mercado de Juchitán de Zaragoza, sino que de todos los edificios existentes. Es importante reforzar las edificaciones de forma oportuna con la finalidad de reducir su vulnerabilidad sísmica y de ese modo minimizar el riesgo de tener pérdidas económicas ante un futuro sismo de gran intensidad, en lugar de realizar intervenciones una vez que se producen daños muy severos.
- Ante un posible evento catastrófico, recomendamos a todos los dueños de negocios formular o mejorar sus planes de continuidad y de contingencia. Para ello, es importante que tengan bien identificadas las amenazas a las que se encuentran expuestas sus unidades económicas e indagar cómo es que estas podrían afectarlas. Dentro de las acciones que se pueden llevar a cabo, están:
 - Tratar el riesgo trasladándolo a una aseguradora, de modo que se puede contratar un seguro contra daños directos para proteger el sistema estructural, los elementos no estructurales y los contenidos del edificio, así como un seguro contra la pérdida por interrupción de las actividades.
 - Mitigar el riesgo tomando o reforzando medidas para minimizar el impacto del evento. Por ejemplo, los negocios pueden establecerse en edificios que no sean altamente vulnerables sísmicamente, disponer de stock de reserva e incluso efectuar un estudio de mercado para detectar lugares estratégicos en los que podrían reubicarse en caso de que sus edificios deban ser rehabilitados.

ANEXO C5

**THE IMPACT OF THE SEPTEMBER 7TH 2017 EARTHQUAKE ON
THE BUSINESSES OF THE MUNICIPAL MARKET OF JUCHITÁN
DE ZARAGOZA DUE TO PROPERTY DAMAGE**

En este anexo se presenta el artículo “The impact of the September 7th 2017 earthquake on the businesses of the municipal market of Juchitán de Zaragoza due to property damage”, el cual se encuentra sometido para su posible publicación en la revista científica “Natural Hazards” de Springer Nature desde marzo de 2022.

Resumen

A menudo los sismos de gran intensidad afectan a los negocios debido a que se dañan severamente los edificios donde operan, en tal sentido, el mercado municipal de Juchitán de Zaragoza representa un interesante caso de estudio. En esta investigación se identifican los daños en este inmueble durante el sismo de Mw 8.2 ocurrido el 7 de septiembre de 2017, observándose que se presentó el problema de columna corta en la mayoría de las columnas, un asentamiento y fallas por cortante en vigas y muros no estructurales, y posteriormente se detalla la rehabilitación estructural y no estructural. Asimismo, se presenta un informe estadístico sobre una encuesta aplicada en noviembre de 2020 a 165 negocios establecidos en el mercado para evaluar el impacto empresarial por la pérdida de la operatividad del edificio a causa del evento destructivo. De acuerdo con los resultados obtenidos, sólo 4.24% de las unidades económicas encuestadas no tuvo pérdidas directas por el sismo, por otra parte, 45.46% no pudo operar por más de un mes y 33.94% consideró que dejó de ganar más de \$3000 MXN (\$160 USD) durante el tiempo de paralización absoluta de sus actividades.

← Submissions Being Processed for Author

Page: 1 of 1 (1 total submissions)

Results per page 10

Action	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Status Date	Current Status
View Submission View Reference Checking Results Correspondence Send E-mail	NHAZ-D-22-00380	The impact of the September 7th 2017 earthquake on the businesses of the municipal market of Juchitán de Zaragoza due to property damage	15 Mar 2022	17 Mar 2022	Editor Invited

The impact of the September 7th 2017 earthquake on the businesses of the municipal market of Juchitán de Zaragoza due to property damage

David Ortiz¹, Eduardo Reinoso¹ and Jorge Alberto Villalobos²

Abstract

Earthquakes of great intensity often affect businesses because the buildings where they operate are severely damaged, in this sense, the municipal market of Juchitán de Zaragoza represents an interesting case study. This investigation identifies the damage to property during the 8.2 Mw earthquake that occurred on September 7th, 2017, observing that the short column problem occurred in most of the columns, a settlement and shear failures in beams and non-structural walls, and later the structural and non-structural rehabilitation are detailed. Likewise, a statistical report is presented on a survey applied in November 2020 to 165 businesses established in the market to evaluate the business impact of the loss of the building's operability due to the destructive event. According to the results obtained, only 4.24% of the economic units surveyed did not have direct losses due to the earthquake, on the other hand, 45.46% could not operate for more than a month and 33.94% considered that they stopped earning more than \$ 3,000 MXN (\$ 160 USD) during the time of absolute stoppage of its activities.

Keywords: Chiapas 2017 earthquake, business interruption, loss due to earthquake, damages and rehabilitation in the Juchitán Market

David Ortiz email

DOrtizS@ingen.unam.mx

¹Institute of Engineering, UNAM, Mexico City, Mexico

²Technological Institute of the Isthmus, TecNM, Oaxaca, Mexico

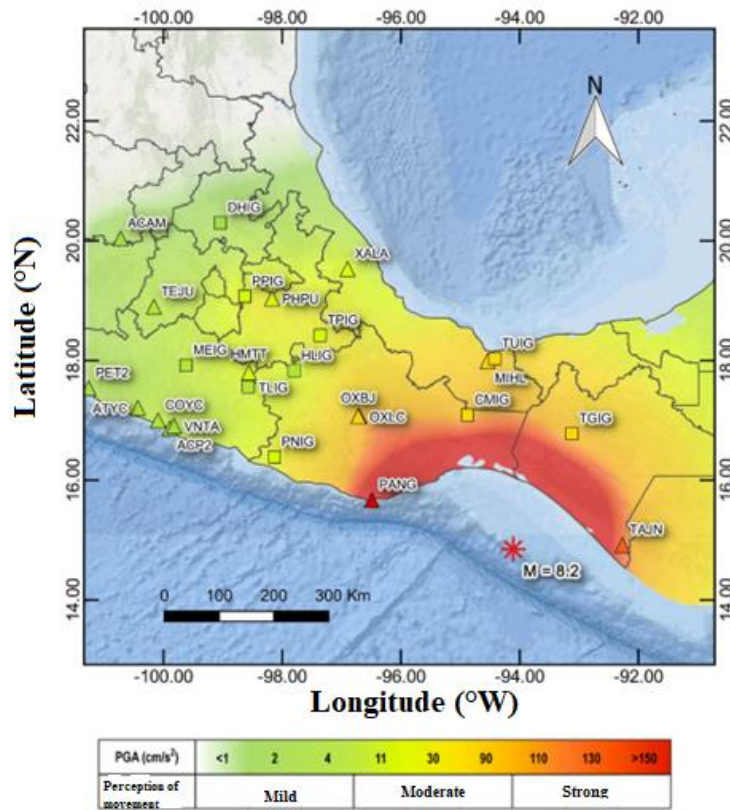
ORCID David Ortiz 0000-0003-3093-5440

ORCID Eduardo Reinoso 0000-0003-3499-2127

Introduction

1.1. Brief description of the problem and objective of the research

According to the National Seismological Service (2017), on September 7th, 2017, there was an earthquake with a magnitude of 8.2 Mw at 23:49:18 hours (Local time, Mexico City), whose epicenter was located in the Gulf of Tehuantepec, in front of the coast of Chiapas, 133 km southeast of the municipality of Pijijiapan. The coordinates for the hypocenter were 14.761 N and -94.103 W, and the depth was 45.9 kilometers. The focal mechanism of the earthquake evidenced a failure of the normal type. Two days after, 482 aftershocks were recorded and, 15 days later, 4326 aftershocks, whose distribution covered all the Tehuantepec Gulf. On the other hand, based on a report made by the Engineering Institute at UNAM (2017), in the Niltpec station (NILT), there was a Maximum Soil Acceleration registered, PGA, of the 500 cm/s² order, while, in Mexico City, the registered PGA in University City was 8.9 cm/s² (Fig. 1).



47
48 **Fig. 1** Map of Maximum Soil Acceleration (PGA), for the September 7th 2017 earthquake. Source: Engineering
49 Institute, UNAM.

50
51 This earthquake affected different infrastructure of several states of the Mexican Republic, among
52 them, Chiapas, Tabasco, Veracruz, Mexico State and Oaxaca (Archundia et al. 2018; Pozos-Estrada et al. 2019;
53 Tapia y García 2019; Aguilar et al. 2020; Guzman et al. 2020). Particularly, Juchitán de Zaragoza was the
54 municipality of Oaxaca that suffered the biggest amount of damages because of this destructive event, given
55 that thousands of houses, the church, city hall, several educational institutions and hundreds of commercial
56 buildings suffered severe damages or a total or partial collapse. It was observed that the entrepreneurial sector
57 was gravely damaged, which represented a socio-economic problem, due to the fact that, at the moment,
58 businesses of all types and sizes are essential for the functioning of every community and the economic strength
59 of a country, given that they generate employment, pay taxes, provide goods and services, etc. that's why, when
60 they can't restart their activities after the earthquake, the individual and communal living conditions worsen,
61 which leads to a considerable delay in the recovery of affected zones (Chang y Lotze 2014; FEMA 2015; Ortiz
62 et al. 2020, Ortiz et al. 2021a). In that sense, the municipal market of Juchitán represents an interesting case
63 study.

64
65 The objective of this research is to analyze the impact of businesses of the municipal market of Juchitán
66 de Zaragoza, Oaxaca, caused by the property damage during the Chiapas earthquake, which occurred on
67 September 7th, 2017. Particularly, the effects and the rehabilitation of the property are detailed, and then, for a
68 representative sample, we estimated direct and indirect losses incurred by interruption of activities. We
69 identified the strategies that were implemented to maintain and increase the habitual level of profit, we indicate
70 the incentives they received for entrepreneurial reactivation and examined the recovery of productivity.

71
72
73
74
75

1.2 Impact on businesses due to some historical earthquakes

Destructive earthquakes, on top of the deaths and injuries they cause, have always brought serious economic and social problems, among them, negative impacts on economic units, such as increased economic losses for structural and non-structural damage on buildings and their content. These direct effects have also provoked businesses to have to interrupt their operations and therefore, stop generating profit. However, there have also been a cease in production even if the buildings didn't turn out damaged. We have even observed some companies that suffered a decrease in income without having ever closed due to the earthquake, because they stopped having clients after the big event (Arce et al. 2014; Ortiz y Reinoso 2019; Ortiz et al. 2021b).

“All economic units must take into account all the risks to which they are exposed to reasonably maintain themselves in function. It is crucial that they incorporate practical solutions to mitigation into their commercial and planning decisions” (FEMA 2015). It has been demonstrated that micro and small businesses are more vulnerable to natural risks than big ones (Lo et al. 2021), however, it has been evidenced that those that have previous experience in disasters and problems with money flux, have less probability to disappear after a new catastrophic event (Marshall et al. 2015).

Research has been performed on the commercial consequences of the most catastrophic earthquakes in California, including the 1983 Coalinga (Durkin 1984; French et al. 1984), 1989 Loma Prieta (Kroll et al. 1991) and 1994 Northridge (Gordon et al. 1995; Boarnet 1998). According to the poll performed by Tierney (1997), it was recorded that due to this event, the four main reasons for companies temporarily closing were: 1) loss of power (58.7%), 2) inability of the employees to reach the place of business (56.4%), 3) damages to the owner's house (44.4%) and 4) loss of clients (40%). Also, there is a study based on a poll in which the direct and interruption of business losses were estimated after the Kocaeli, Turkey 1999 earthquake (Durukal y Erdik 2008) and in another study, the economic impact on Shifang was estimated, which was caused by the interruption in roads as a result of the Wenchuan earthquake, which occurred in 2008, demonstrating that a failure of the transport network leads directly to impacts in the interruption of business in the road transport sector, which directly leads to impacts in the interruption of business, which unchains a domino effect in other sectors due to economic interdependence (Shi et al. 2015).

Furthermore, based on the data recollection of 541 organizations affected by the earthquakes in Canterbury, it was registered that the most disruptive impact of these was due to the problems the clients had to face, and also, it was evidenced that those economic units that rented a building recovered a little bit better than the ones that owned the place (Brown et al. 2015). On the other hand, based on the poll that was applied to 226 retailers of the Central Market at Portoviejo, 22% couldn't offer their products for between 1 and 15 days due to the earthquake that occurred on April 16th 2016, in Ecuador, while 46% was between 15 and 30 days, and 32% was for more than 30 days (Valdiviezo 2019). Additionally, it was observed that, because of the September 2017 earthquakes in Mexico, out of 2,041 million businesses, 39.3% suspended activities at some point, out of which 43.2% was for one day, 23.4% for two days, 10.8% for three days and at least 22.6% for more than three days (INEGI 2017). There was also an analysis of damages to houses and commercial buildings by the Puebla earthquake in September 19th 2017, noting that, in Mexico City, the buildings of between 1 and 10 stories, and that were built between the 1960s and 1980s, were the most affected (Buendía y Reinoso 2019) and in another investigation, reasons for closure were identified in businesses for this event, registering the cuts in power, post seismic inspection of the structure, complications in access ways, the collapse of neighboring businesses with human victims, among others, caused a potential pause in business (Ortiz y Reinoso 2020).

Recently, an analytical framework was developed to model the recovery times of companies after seismic events considering multiple downtimes such as building recovery, general community disruption, and mitigation tactics employed by companies using information from 22 economic units affected by the 2011 Mw 6.1 earthquake in Christchurch, New Zealand (Cremen et al. 2020). In addition, a probabilistic model was carried out to quantify and predict the recovery of businesses through a Bayesian linear regression, taking into

127 account the interaction between households and businesses, which was applied in a community in Lumberton,
128 North Carolina, which was deeply impacted by Hurricane Matthew in 2016 (Aghababaei, 2020).

131 2 Research method

132
133 The present scientific investigation has a mixed approach. It is qualitative, because the pathology of the Juchitán
134 market was recorded based on field investigations, while it is also quantitative, since a statistical report was
135 made on the effects on the businesses of this property due to the earthquake of September 7th 2017.

137 2.1. Research techniques and instruments for data collection

138
139 A direct observation was made, in addition, structured interviews were applied to Civil Engineers in order to
140 collect the damage in the Juchitán market building during the earthquake and to know how this property was
141 rehabilitated, being necessary for such purposes a device to take photographs and record. Likewise, in
142 November 2020, a face-to-face survey was conducted to business owners or employees in the market to
143 determine how they were affected by the earthquake, requiring a questionnaire with closed, brief and objective
144 questions. Finally, the documentary analysis allowed us to collect information from scientific journals, technical
145 reports, newspapers, among others, using the data record sheet as an instrument.

147 2.2 Population and sample size

148
149 On the other hand, according to the representative of the tenants, the Juchitán de Zaragoza market located in
150 Oaxaca has the capacity to house approximately 1082 businesses, including those established on the sidewalks
151 attached to the property. However, due to the COVID-19 pandemic, when the field investigation was carried
152 out, only about 70% were operating. Therefore, in this work a total population of 758 economic units was
153 considered. To calculate the size of the representative sample, the following equation was used for a population
154 with finite size:

$$155 \quad n = \frac{N\sigma^2 Z_\alpha^2}{e^2(N-1) + \sigma^2 Z_\alpha^2} \quad (1)$$

157
158 Where:

159 n = sample size

160 N = population size

161 σ = population standard deviation. It is usually assigned a value of 0.5 to be conservative.

162 Z_α = number of standard deviations that a given proportion deviates from the mean. For a confidence
163 level of 95%, a value of 1.96 corresponds.

164 e = acceptable limit of sampling error. Usually a value that varies between 1% and 9% is used. In this
165 case, a margin of 6.77% is considered.

166
167 Therefore,

$$168 \quad n = \frac{(758)(0.5^2)(1.96^2)}{(0.0677^2)(758-1) + (0.5^2)(1.96^2)} = \frac{727.9832}{4.6687} \approx 165$$

170
171 Consequently, 165 businesses were surveyed, as shown in Table 1. A type of random sampling was used,
172 so that all the elements of the population had the possibility of being chosen in the sample.

178
179
180
181
182
183

Table 1 Number and percentage distribution of businesses considered in the survey according to the type of product or service they offer

Business Type	Absolute frequency	Relative frequency	Percentage (%)
Typical crafts of the region	29	0.18	17.58
Drinks or food	38	0.23	23.03
Beef or pork, chicken, or seafood	39	0.24	23.64
Fruits or vegetables	9	0.05	5.45
Clothing or footwear	36	0.22	21.82
Stationery	3	0.02	1.82
Other	11	0.07	6.67
Total	165	1.00	100.00

184
185

3 Pathology of the Juchitán market

187

3.1 Structuring the property

189

The City Hall of Juchitán de Zaragoza, Oaxaca was built in the 19th century and covered the entire respective block. At the beginning of the 20th century, it was decided to locate a public market using the infrastructure of this building, roofing the central patio and converting the accessories on the ground floor into commercial premises. However, in 1970 this market caught fire, so that part of the palace's structure was damaged. Once the area that had been affected had been demolished, the building that today is known as "Mercado 5 de Septiembre" was built there, which was inaugurated in January 1973.

196

The market building consists of a structural system based on two-level reinforced concrete frames. It has a trapezoidal-shaped plan, so that on the widest side, it has 6 longitudinal axes and on the narrower it has 5. On the transverse side it has 18 axes, resulting in a total of 85 columns.

200

The columns are supported on isolated footings linked with beams, while the mezzanine slab is lightened around the perimeter and in a central section, in addition to linking the longitudinal sections in the transverse direction, leaving two free areas on the floor of the slab. Meanwhile, the roof slab has a novel geometry due to the pyramidal shapes and the use of pre-forces in the short sense. Likewise, the perimeter walls are made of red annealed partition from the Isthmus region, they rest on continuous footings and are cast monolithically with the columns, in such a way that the mezzanine slab does not bind.

207

3.2 Downtime of building occupancy

209

Due to the fact that the building presented a level of severe global damage due to the earthquake that occurred on September 7th, 2017, it was disabled for a little more than two years and two months until its reconstruction, so that businesses could not operate there during that period. In Fig. 2, a Gantt chart is shown with the activities that were carried out to be able to reopen the market.

214

According to a structured interview applied to the Director Responsible for Construction, the tasks for the recovery of the operation of the building began in September 2017 with the call of the municipal government to civil engineers and architects to form a working group for the sake of reconstruction. In Juchitán de Zaragoza. In October 2017, the Municipal Reconstruction Coordination was formed, which was in charge of carrying out

215
216
217
218

219 post-seismic inspections and simplified evaluations of damages in the market and other buildings in the
 220 municipality that had been affected by the Chiapas earthquake, in addition, this month the local government
 221 requested financial support from the state and federal governments to rehabilitate the market. Likewise, during
 222 these two months, the areas near the main columns of the building were simultaneously propped up.
 223

224 A more detailed evaluation of the structural safety in the property was carried out in October by a company
 225 specialized in rehabilitation, which ruled the viability of the reconstruction of the market, in contrast to the
 226 opinion of other engineers and most of the tenants, who suggested its demolition. The structural and non-
 227 structural damages identified in the building are described in detail in subtopic 3.3. Between November and
 228 December 2017, agreements were carried out between all parties involved (government, tenants, construction
 229 company and funders) and simultaneously, the design of the rehabilitation project was carried out, in addition
 230 activities of cleaning and rubble removal.
 231

232 After the financial support of different foundations and donations from company employees, in January
 233 2018, the works for the reconstruction of the market began, which are described in detail in subtopic 3.4. During
 234 this month, the mezzanine slab was shoring using wooden blocks. Likewise, in January and February, the
 235 perimeter walls were demolished and the footings and columns were prepared in order to reinforce them with
 236 steel rods and pour them with concrete, including the capitals of the mezzanine slab. On December 10th, 2018,
 237 the completion of the cladding of all the columns was reported. In general, at the end of this month, it was
 238 indicated that the property had 85% of total progress in its reconstruction, not only considering the structural
 239 part, but also the architectural, hydro-sanitary and electrical, as well as the conditioning of the commercial
 240 premises.
 241

Year	2017				2018												2019											
Month	September	October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	
Activity																												
Conformation of brigades	■																											
Post-seismic inspections and simplified evaluation of damages	■																											
Granting of financial resources		■	■	■																								
Evaluation of the damages by specialized company		■	■	■																								
Design of the rehabilitation project			■	■																								
Execution of reconstruction work					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Inauguration of the market																												
Finishing the final rehabilitation work on electricity supply and inactivity for damages to City Hall																												
Re-opening of the market																												

242 **Fig. 2** Gantt chart showing the activities carried out to achieve the reopening of the Juchitán market
 243

244 Although the rehabilitated market in Juchitán was inaugurated on April 11th, 2019, it was not opened
 245 to the public because it was necessary to complete the electrical rehabilitation and also for safety reasons, since
 246 the rehabilitation works of the municipal palace located nearby had not yet been completed. Therefore, tenants
 247 continued to offer their products or services on a provisional basis, mainly in the Benito Juárez central park.
 248

249 Finally, with the financing of the tenants, it was possible to finish rehabilitating the electricity supply
 250 and, given the economic need, a little more than 800 businesses restarted activities in the Juchitán market
 251 property on November 23rd, 2019, despite the fact that the municipal palace he was not rehabilitated.
 252

253 3.3 Damage to the property

254
 255 As shown in Fig. 3, the columns were severely damaged due to the short column effect, which consists
 256 of a partial restriction of the lateral displacement of the structural element, which forces all the stress and

257 deformation demand to be concentrated in its free portion, which are substantially greater than those that would
258 appear in the same column if it were free throughout its height. It was observed that this problem occurred
259 because the non-structural masonry walls did not span the full height of the respective columns, but there were
260 voids, in some cases for the windows. Among the local effects produced by the short column problem were the
261 increase in lateral stiffness and shear stress, as well as the decrease in ductility. The global effects were derived
262 from the incompatibility of deformations between the short columns and the rest of the structural members
263 resistant to lateral actions, since the former failed prematurely and a chain reaction was generated (Beauperthuy
264 and Urich 2011).
265



265

286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310



Fig. 3 Short column effect on columns of the Juchitán market building

Likewise, in the northeast corner, there was a subsidence of the footing, which caused the prestressed girder of the second level to fail, so that there was an approximate difference in level in the corner area of 10 to 15 cm with respect to the horizontal. In Fig. 4, a beam shear failure is shown, which is characterized by the presence of diagonal cracks. On the other hand, Fig. 5 shows some non-structural damage, such as broken windows, detachment of finishes and shear cracking in non-structural walls.

311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329



Fig. 4 Settlement in the Juchitán market property, which caused damage to the mezzanine



347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366

Fig. 5 Damage nonstructural to market Juchitán a) release finishes and broken windows; b) shear cracking in non-structural wall

3.4 Rehabilitation of the building

According to what was observed, the Juchitán de Zaragoza market building was rehabilitated approximately a year and a half after the occurrence of the earthquake of September 7th, 2017, however, businesses returned to operate in this construction at a little more than two years after the catastrophic event. Due to the very severe damage, a reconstruction of the property was necessary, which required an investment of more than 35 million Mexican pesos. Here are some of the activities that were carried out to restore the functionality of the building:

- 1) To rehabilitate the columns of the ground floor and the first floor, the cladding technique was used, which according to Ayala and Giraldo (2018) consists of a way to reinforce a structural element that has undergone changes in its resistant capacity, increasing its section wrapping it with an additional section of suitably reinforced concrete, in order to increase its load capacity against compression, bending, shear and torsion, guaranteeing simultaneous work between different elements. The foregoing in order to comply with the provisions of current regulations (resistance, safety factors, quality of materials, functionality and useful life). The construction process is shown in Fig. 6 and consisted of the following:

- 367
- 368
- 369
- 370
- 371
- 372
- 373
- 374
- 375
- 376
- Shoring of the slab of the first level.
 - Excavation (on the ground floor this activity was carried out for re-laying).
 - Scarifying of damaged columns with mechanical equipment and hand tools (Fig. 6a).
 - Fitted and reinforced with steel for the new footing connected to the columns on the ground floor (Fig. 6b).
 - Fitted and reinforced with steel for the columns (Fig. 6c).
 - Forming the columns (Fig. 6d).
 - Casting of the columns whose final section was 50x80 cm or 55x55 cm. CEMEX ready-mixed concrete was used with a compressive strength of $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ (Fig. 6e).
 - Filling of the excavation with cyclopean concrete in the columns of the first floor.
- 377
- 378
- 379
- 380
- 381
- 382
- 383
- 384
- 385
- 386
- 387
- 388
- 2) The previous waterproofing was removed, the existing cracks were repaired and the upper and lower beds were waterproofed in the roof slab and the edge beams, applying four layers: sealer, preliminary waterproofing, reinforcing membrane and waterproofing to seal the final pore.
 - 3) Construction of a cistern and a machine room, Fig. 7.
 - 4) Gussets were built located only on the 50x80cm columns, using CEMEX concrete with $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$
 - 5) As shown in Fig. 8, several concrete bars were built for the business tables.
 - 6) Various works on the east, west, south and north facades, including the construction of:
 - Counterbeams
 - Brick walls
 - Foundation beams to bind
 - Strip footings
 - Retaining walls with Cemex ready-mixed concrete of $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
 - Lattice walls
 - Intermediate reinforced concrete structural chains
 - Reinforced concrete columns
 - Furring walls
- 389
- 390
- 391
- 392
- 393
- 394
- 395
- 396
- 397
- 398
- 399
- 400
- 7) For the reconstruction of the commercial premises on the ground floor and the first floor (Fig. 9), the following activities were required:
 - Construction of dividing walls (Fig. 9a).
 - Construction of short walls for the tables of the premises.
 - Floor laying using electro-welded mesh reinforcement.
 - Placement of Armex 10x15 cm (2m high) at the end of the walls of the premises on the outside on the first floor. The Armex was overlapped to four number three rods, which were anchored to the mezzanine slab.
 - Blacksmith work (Fig. 9b), such as the placement of posts, grids and metal curtains, welding of windowsills to the posts and application of gray and white paint.
 - Regarding the electrical installation (Fig. 9c), a channel was placed in all the premises, each one with two shafts for polarized contacts and switches. It was of two circuits and galvanized pipe was used. The voltages that were taken into account for the switches were 120 and 220 volts.
- 401
- 402
- 403
- 404
- 405
- 406
- 407
- 408
- 409
- 410
- 411

412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432



a)



b)



c)



d)



e)

434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450

Fig. 6 Stages of the construction process for the jacketed columns of the Juchitán market building: **a)** scarifying; **b)** enabled and reinforced with steel for the new footing; **c)** enabled and reinforced with steel for the column; **d)** column bending; **e)** concrete casting



Fig. 7 Top slab formwork of the tank and the machine room



Fig. 8 Construction of bars for business tables

465
466
467

468



a)



b)

483

484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500



c)

Fig. 9 Activities for the reconstruction of the retail premises a) construction of dividing walls; b) smithy work; c) electrical installation

501
502
503
504
505
506
507
508
509
510

- 8) Demolition of the floor and some walls on the two floors, in addition to the sidewalk on the north façade and of the stair on the west side, as well as detachment of the latticework on the upper floor.
- 9) Reconstruction of toilets.
- 10) Hydraulic installation, in which 1 ¼ diameter CPVC was used.

511 11) Sanitary installation in the bathrooms using 2' and 4" pvc pipes for draining soapy water from sinks
512 and 4" and 6" pipes for connection to the WC.
513
514

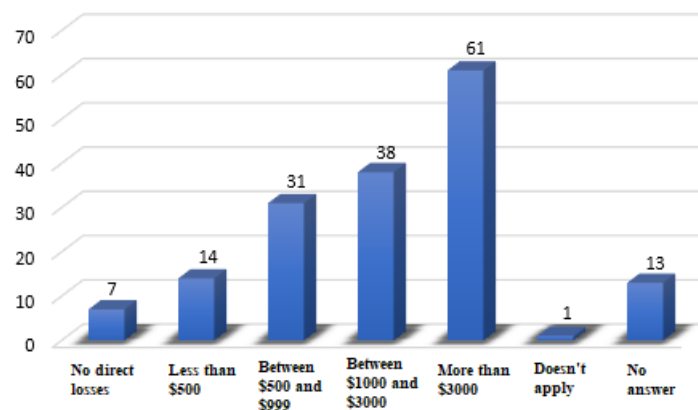
515 **4 Statistical report of the effects on businesses in the Juchitán de Zaragoza market due** 516 **to the earthquake of September 7th, 2017**

517 **4.1 Direct losses in business**

518
519 For the purposes of this research, direct business losses are defined as damage to tangible assets (sales products,
520 furniture, equipment, machinery or any other property, except the building) caused directly by the earthquake,
521 as well as the theft or loss of these after the evacuation of the property. Also included are products that, although
522 not damaged by the earthquake, were spoiled due to the stoppage of business activities.
523
524

525 Of the 165 businesses surveyed, 36.36% stated that the earthquake that occurred on September 7, 2017
526 did not directly cause damage to their tangible assets, while 60% indicated that there was. On the other hand,
527 there were five unanswered cases and one business that was not yet operating during the catastrophic event (not
528 applicable), which represented 3.64% of the total.
529

530 As shown in Fig. 10, only 7 economic units did not have direct losses (4.24%), on the contrary, 83
531 businesses estimated that this economic loss was \$ 3,000 MXN or less (50.30%), while 61 businesses considered
532 which was for more than \$ 3000 MXN (36.97%).
533



534
535 **Fig. 10** Number of businesses according to the estimated direct loss (in Mexican pesos) due to the earthquake
536

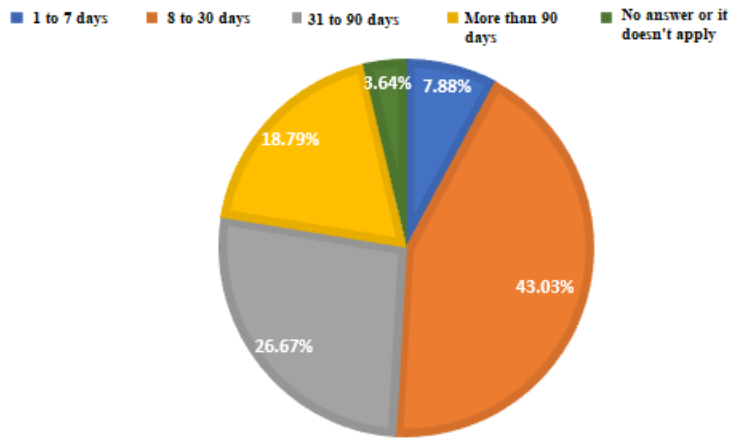
537 **4.2 Losses due to interruption of activities**

538
539 For the purposes of this research, business interruption losses are defined as the gains that economic units ceased
540 to have during the time that they were unable to offer their products or services anywhere.
541

542 According to the applied survey, most of the tenants were forced to relocate their businesses
543 predominantly in the main square of Juchitán and exceptionally in their homes due to the need for an economic
544 reactivation, instead of waiting until the market building Juchitán will regain its functionality. It was recorded
545 that only 12.12% of the 165 businesses considered in the investigation did not have the possibility to offer their
546 products or services on a provisional basis elsewhere while the property was being rehabilitated.
547

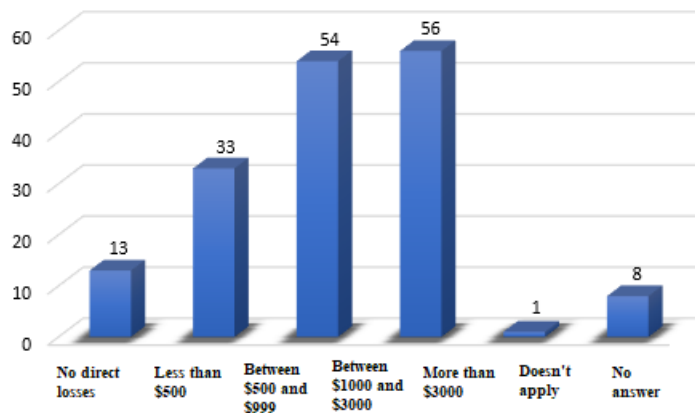
548 Regarding the time that the businesses were unable to operate, those with an inactivity of 8 to 30 days
549 prevailed, with an absolute frequency of 71 (43.03%), on the other hand, only 13 cases were presented in which
550 this occurred between 1 and 7 days (7.88%). Another recurring response was the one in which it was indicated
551 that the stoppage of operations was from 31 to 90 days, because this happened on 44 occasions (26.67%). Even

552 31 businesses assured that they could not offer their products or services for more than 90 days (18.79%). In
 553 Fig. 11 the respective percentage structure is shown.
 554



555
 556 **Fig. 11** Percentage structure of businesses according to the number of days that they suspended their activities
 557

558 Fig. 12 shows the number of economic establishments according to the loss due to interruption of
 559 business activities. It can be inferred that approximately a third of the surveyed businesses estimated that they
 560 stopped earning more than \$ 3,000 MXN during the time they were unable to operate, while a little less than
 561 another third of the representative sample considered that it was between \$ 1,000 MXN and \$ 3000 MXN.
 562



563
 564 **Fig. 12** Number of businesses according to the estimated loss (in Mexican pesos) during the time they were unable to operate
 565

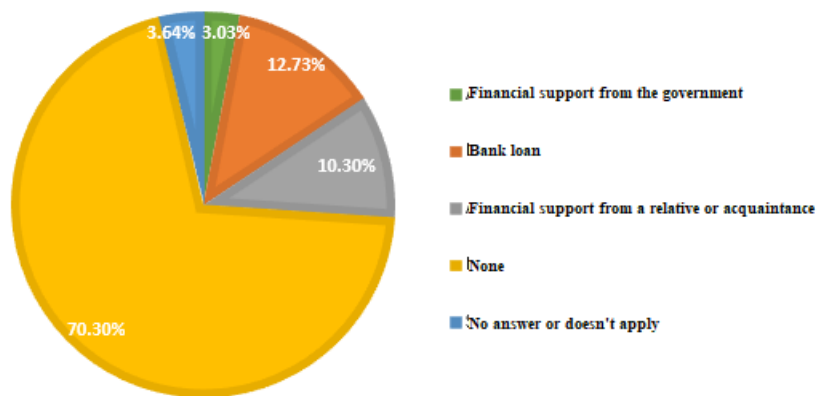
566 **4.3 Recovery of economic units**

567
 568 Another aspect addressed in the survey was the recovery of business. In the first instance, it was of interest to
 569 know the strategy implemented by the tenants to try to maintain or increase their usual profits after the reopening
 570 of their economic unit. As shown in Table 2, it was mainly indicated that the sale prices of the products or
 571 services offered had to be modified and there were only seven responses in which it was indicated that no
 572 strategy was carried out.
 573
 574
 575
 576
 577
 578
 579

580 **Table 2** Number and percentage distribution of businesses according to the strategy implemented to try to maintain or
 581 increase the usual level of profits once they were reopened

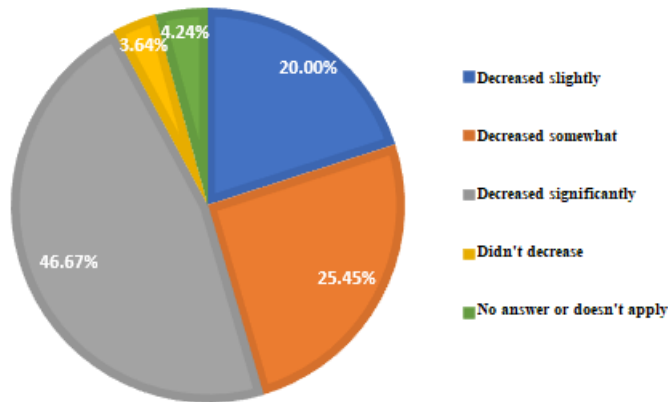
Alternative	Absolute frequency	Relative frequency	Percentage (%)
Increase advertising	48	0.29	29.09
Incorporate new products or services	23	0.14	13.94
Modify sale prices	56	0.34	33.94
I did two or all of the above strategies	23	0.14	13.94
I made another strategy	1	0.01	0.61
None	7	0.04	4.24
Does not apply	1	0.01	0.61
Unanswered	6	0.04	3.64
Total	165	1.00	100

582 On the other hand, according to the field research, 116 responses were registered indicating that no
 583 incentive was received to be able to reactivate the respective business (70.30%), on the contrary 21, 17 and 5
 584 tenants affirmed, correspondingly, that they received a bank loan (12.73%), financial support from a relative or
 585 acquaintance (10.30%) and financial support from the government (3.64%). Likewise, no response was
 586 obtained from 5 respondents, in addition to the fact that the question did not apply to a business that indicated
 587 that it was not yet established in the market when the earthquake occurred (3.03%). The percentage structure is
 588 shown in the graph of Fig. 13.
 589
 590



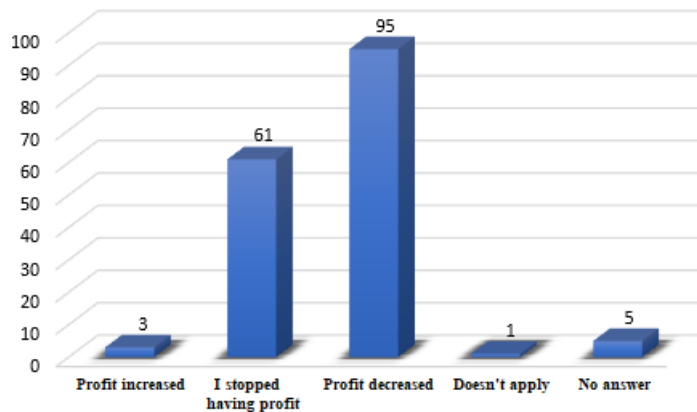
591 **Fig. 13** Percentage structure of the businesses according to the main incentive they received for their reactivation after the
 592 earthquake
 593
 594

595 Regarding how sales were during the first month in which the businesses were back in operation (Fig.
 596 14), the majority agreed that sales decreased (92.12%). In particular, those who considered this situation to be
 597 significant prevailed, with the absolute frequency of 77 for this alternative (46.67%).



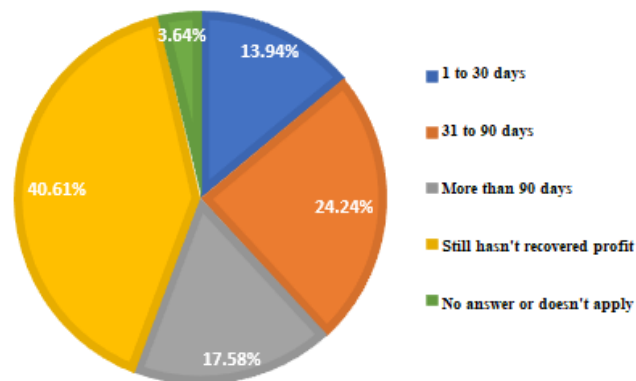
598
599 **Fig. 14** Percentage structure of businesses with respect to how their sales were during the first month in which they were
600 able to offer their products or services
601

602 Likewise, the respondents who perceived that their profits decreased during the first month in which
603 their business returned to operate (57.58%), followed by those who stopped making profits (36.97%) and only
604 a minority indicated that their profits increased (1.82%). In addition, 5 members of the representative sample
605 chose not to respond (3.03%) and this case did not apply to a business (0.61%). The corresponding absolute
606 frequency is shown in Fig. 15.
607



608
609 **Fig. 15** Number of businesses according to their perception of how their earnings were during the first month that they
610 returned to operating
611

612 Finally, in the survey it was of interest to know how long the businesses recovered their usual level of
613 profits (the one they had before the earthquake) after reopening. As shown in Fig. 16, those who perceived that
614 they had not yet recovered their usual earnings at the time of having applied the survey prevailed (40.61%). On
615 the contrary, 13.94%, 24.24% and 17.58% of the total representative sample indicated respectively that it took
616 them to recover their usual earnings between 1 and 30 days, from 31 to 90 days and in more than 90 days.



617
618 **Fig. 16** Percentage structure of the businesses according to their perception about the time it took to recover their usual level
619 of profits after they reopened
620

621

622 5 Conclusions

623
624 The earthquake that occurred on September 7th, 2017 caused very severe structural and non-structural damage
625 to the municipal market building of Juchitán de Zaragoza, so that it was disabled for about two years and two
626 months until its reconstruction, so the businesses were not able to operate there during that period. It was
627 documented that a large part of the inactive time of occupation of the property was not due to the execution of
628 rehabilitation works, but to the obtaining of financial resources, the agreements between the parties involved
629 and the insecurity of operating due to the damage to the City Hall deputy.
630

631 According to the data collection techniques used, it is concluded that the columns of the market building
632 were severely damaged due to the short column effect. In addition to this, there were several non-structural
633 damages in the property, such as broken windows, detachment of finishes and shear cracking in non-structural
634 walls. Likewise, it was recorded that several interventions were necessary to recover the functionality of the
635 building, including the cladding of columns, a re-foundation, the construction of a cistern and bars for business
636 tables, and the waterproofing of the upper and lower beds of the slab rooftop.
637

638 Based on a survey applied to 165 economic units in the market, 60% declared that the earthquake directly
639 caused damage to their tangible assets, additionally, considering that there was theft or loss of property after
640 the evacuation from the premises, in addition to some products becoming spoiled due to the stoppage of business
641 activities, only about 4% of those surveyed indicated that they didn't have any direct losses derived from the
642 catastrophic event. In addition, it was documented that most of the tenants were forced to relocate their
643 businesses predominantly in the main square of Juchitán and, exceptionally, in their homes due to the need for
644 an economic reactivation, instead of waiting until the Juchitán market building recovered its functionality, even
645 so, approximately 45% of the representative sample could not operate for more than a month and about 34%
646 considered that they stopped earning more than \$ 3,000 MXN (\$ 160 USD) during the time of absolute stoppage
647 of their activities. Even 41% of the economic units responded that they still had not recovered their usual
648 earnings at the time of having applied the survey.
649

650

651 6 Recommendations

652
653 The present study allowed us to show that at present there are still highly vulnerable constructions seismically,
654 which, when damaged, can cause not only high direct losses, but also large losses due to the cease of business
655 activities, as happened with the Juchitán market. We intend to help alert tenants about these risks, as well as to
656 generate knowledge that will be useful to formulate strategies that minimize economic losses due to earthquakes
657 in businesses. We believe that this socio-economic, policy and engineering problem can be solved with the

658 collaboration of all sectors and this is what motivated us to develop this research. Therefore, the authors suggest
659 the following:

- 660 • Constant monitoring and maintenance, not only of the Juchitán de Zaragoza market building, but also
661 of all existing buildings. It is important to reinforce buildings in a timely manner in order to reduce their
662 seismic vulnerability and thereby minimize the risk of financial losses in the event of a future high-
663 intensity earthquake, instead of carrying out interventions once very severe damage occurs.

- 664 • In the face of a possible catastrophic event, we recommend that all business owners formulate or improve
665 their continuity and contingency plans. For this, it is important that they have well identified the threats
666 to which their economic units are exposed and investigate how these could affect them. Among the
667 actions that can be carried out are:
 - 668 ➤ Treat the risk by transferring it to an insurance company. For this, direct damage insurance
669 can be purchased to protect the structural system, non-structural elements and building
670 contents, as well as insurance against loss due to interruption of activities.
 - 671 ➤ Mitigate risk by taking or reinforcing measures to minimize the impact of the event. For
672 example, businesses can establish themselves in buildings that are not highly seismically
673 vulnerable, have a reserve stock and even carry out a market study to detect strategic places
674 where they could relocate in case their buildings need to be rehabilitated.

675
676 **Acknowledgments** In the first instance, we would like to thank Alejandro López, Eduardo Hernández and Arath A. Guerra,
677 who are students at the Tecnológico Nacional de México (TecNM), Instituto Tecnológico del Istmo for their collaboration
678 in the application of a considerable percentage of the surveys. Likewise, we give special recognition to Eng. Alfonso Torres
679 and Arch. Ángel Gallegos for having provided us with valuable information on the rehabilitation of the Juchitán market
680 building. In addition, we want to thank the tenants who agreed to be surveyed to provide information on the impact on their
681 economic units by the earthquake in Chiapas in 2017, as well as the Engineers Juan Castillo and Guillermo Fernández, and
682 the market administrator, Juan Blas, for having provided us with relevant information on the damage to the Juchitán market
683 building.

684
685 **Financing** We thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the financial support provided to the
686 first author during the conduct of this research.

687 688 689 690 **Declarations**

691
692 **Conflicts of interest:** The authors have no relevant financial or non-financial interest to disclose. The authors declare that
693 they have no conflicts of interest that are relevant to the content of this article. All authors certify that they are not affiliated
694 or participating in organizations or entities that have financial or non-financial interests in the subject or the materials
695 discussed in this manuscript. The authors have no financial or proprietary interests in any material discussed in this article.

696
697 **Ethical approval:** All surveys were anonymous. A statement on ethical approval from the university was not required
698 because it is only necessary for research that directly involves human beings, rather than specifically related to business
699 operations. Regarding Fig. 1, we do not require informed consent issued by the UNAM, because this university allows the
700 use of the information it publishes for academic or research purposes, provided that the corresponding credits are granted.

701 702 703 **References**

- 704
705 Aghababaei M, Koliou M, Watson M, Xiao Y (2020) Quantifying post-disaster business recovery through
706 Bayesian methods. *Struct Infrastruct Eng* 17(6):838–856. [https://doi.org/10.1080/15732479.2020.](https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1777569)
707 1777569
- 708 Aguilar JA, González R, Guerrero V, Jara M (2020) Comportamiento de templos coloniales en el sismo del 7
709 de septiembre de 2017 en Chiapas. *Revista de Ingeniería Sísmica* 102:26–41.
710 DOI: 10.18867/RIS.102.502

- 711 Arce C, Rivera D, Monroy F, Delgado JC, Delgado CH (2014) Business interruption: ante el daño sísmico,
712 enfoque financiero. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Sociedad Mexicana de
713 Ingeniería Estructural
- 714 Archundia HI, Fernández LR, García F, Guerrero H, Peña F (2018) Efectos de los sismos de septiembre de
715 2017. XXI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural
- 716 Ayala JA, Jiraldo MA (2018) Estudio del método de recocado en concreto armado para el refuerzo de vigas y
717 columnas de una edificación. Dissertation, Universidad Distrital Francisco José de Caldas
- 718 Beaupertuy JL, Urich AJ (2011) El efecto de columna corta - Estudio de casos. B.R.S. Ingenieros, C.A.,
719 Venezuela
- 720 Boarnet M (1998) Business Losses, Transportation Damage, and the Northridge Earthquake. *Journal of*
721 *Transportation and Statistics* 49-63. <https://doi.org/10.21949/1501575>
- 722 Brown C, Stevenson J, Giovinazzi S, Seville E, Vargo J (2015) Factors influencing impacts on and recovery
723 trends of organisations: evidence from the 2010/2011 Canterbury earthquakes. *Int J Dis Risk Reduct*
724 14(1):56–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.11.009>
- 725 Buendía L, Reinoso E (2019) Análisis de los Daños en Viviendas y Edificios Comerciales Durante la Ocurrencia
726 del Sismo del 19 de Septiembre de 2017. *Revista de Ingeniería Sísmica* 101: 19-35. DOI:
727 10.18867/RIS.101.508
728
- 729 Chang S, Lotze A (2014) Infrastructure contribution to business disruption in earthquakes: model and
730 application to North Vancouver, Canada. Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering:
731 Frontiers of Earthquake Engineering
- 732 Cremen G, Seville E, Baker JW (2020) Modeling post-earthquake business recovery time: an analytical
733 framework. *Int J Dis Risk Reduct*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101328>
734
- 735 Durkin M (1984) The Economic Recovery of Small Businesses After Earthquakes: The Coalinga Experience.
736 International Conference on Natural Hazards Mitigation
- 737 Durukal E, Erdik M (2008) Physical and economic losses sustained by the industry in the 1999 Kocaeli, Turkey
738 earthquake. *Natural Hazards* 46: 153–178. <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9218-6>
- 739 Engineering Institute at UNAM (2017) Reporte Preliminar: Parámetros del Movimiento del Suelo, Sismo de
740 Tehuantepec (Mw 8.2), 7 de septiembre de 2017. Ciudad de México: UNAM
741
- 742 FEMA (2015) Herramienta QuakeSmart para Empresas. FEMA, Washington D. C.
- 743 French S, Ewing C, Isaacson M (1984) Restoration and Recovery Following the Coalinga Earthquake of May,
744 1983. Institute of Behavioral Science, Natural Hazards Research and Applications Information Center,
745 University of Colorado, Boulder
- 746 Gordon P, Richardson H, Davis B, Steins C, Vasishth A (1995) The Business Interruption Effects of the
747 Northridge Earthquake. Lusk Center Research Institute, School of Urban and Regional Planning,
748 University of Southern California, Los Angeles
- 749 Guzmán J, Williams F, Riquer G, Vargas A, Leyva R (2020) Fallas de licuación de suelos inducidas por el
750 sismo de Tehuantepec del 7 de septiembre de 2017 (Mw 8.2) en la Ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz,
751 México. *Revista de Ingeniería Sísmica* 102: 82–106. DOI: 10.18867/RIS.102.526
- 752 INEGI (2017) Estadísticas sobre las afectaciones de los sismos de septiembre de 2017 en las actividades
753 económicas. INEGI, Ciudad de México

754 Kroll C, Landis J, Shen Q, Stryker S (1991) Economic Impacts of the Loma Prieta Earthquake: A Focus on
755 Small Business. University of California, Transportation Center and the Center for Real Estate and
756 Economics, Berkeley

757 Lo AY, Liu S, Chow ASY, Cheung LTO, Fok L (2021) Business vulnerability assessment: a firm-level analysis
758 of micro- and small businesses in China. *Natural Hazards* 108: 867–890.
759 <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04710-z>

760 Marshall MI, Niehm LS, Sydnor SB, Schrank HL (2015) Predicting small business demise after a natural
761 disaster: an analysis of pre-existing conditions. *Natural Hazards* 79: 331–354.
762 <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1845-0>

763 National Seismological Service (2017) Reporte especial sismo de Tehuantepec (2017–09–07 23:49 MW 8.2).
764 Ciudad de México: SSN - UNAM

765 Ortiz D, Reinoso E (2019) Elementos que Contribuyen a la Interrupción de Negocios en Edificios por Sismo.
766 XXII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica

767 Ortiz D, Reinoso E (2020) Tiempo de interrupción de negocios en la Ciudad de México por daños directos y
768 efectos indirectos en edificios a causa del sismo del 19S de 2017. *Revista de Ingeniería Sísmica* 104:1–
769 31. <https://doi.org/10.18867/RIS.104.538>

770 Ortiz D, Reinoso E, Villalobos JA (2020) Daños observados en negocios por el sismo del 23 de junio de 2020
771 en Oaxaca. In: Academia Journals (ed) *Investigación en la Educación Superior: Puebla 2020*.
772 Academia Journals, Puebla, p.p. 656–662

773 Ortiz D, Reinoso E, Villalobos JA (2021a) Assessment of business interruption time due to direct and indirect
774 effects of the Chiapas earthquake on September 7th 2017. *Natural Hazards* 108: 2813–2833.
775 <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04801-x>

776 Ortiz D, Reinoso E, Villalobos JA, Calderón MO (2021b) Pérdida de la operatividad de unidades económicas
777 por distintas amenazas. XXII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Sociedad Mexicana de
778 Ingeniería Estructural

779 Pozos-Estrada A, Chávez MM, Jaimes MÁ, Arnau O, Guerrero H (2019). Damages observed in locations of
780 Oaxaca due to the Tehuantepec Mw8.2 earthquake, México. *Natural Hazards* 97: 623–641.
781 <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03662-9>

782 Shi Y, Shumiao J, Seeland K (2015) Modeling business interruption impacts due to disrupted highway network
783 of Shifang by the Wenchuan earthquake. *Natural Hazards* 75: 1731–1745.
784 <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1391-1>

785 Tapia E, García JS (2019) Comportamiento de estructuras de acero durante los sismos de septiembre de 2017.
786 *Revista de Ingeniería Sísmica* 101:36–52. DOI: 10.18867/RIS.101.499

787 Tierney K (1997) Business impacts of the Northridge earthquake. *Journal of Contingencies and Crisis*
788 *Management* 5:2: 87-97. <https://doi.org/10.1111/1468-5973.00040>
789

790 Valdiviezo RJ (2019) El desastre natural y su impacto socioeconómico en los comerciantes minoristas del
791 mercado central de la ciudad de Portoviejo. Dissertation, Universidad Estatal del Sur de Manabí
792
793
794
795
796
797

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

Generalidades sobre el riesgo de interrupción de negocio

La interrupción de negocio es uno de los riesgos más altos que deben afrontar el sector empresarial en el mundo. La ocurrencia de sismos, inundaciones, disturbios en manifestaciones, huracanes u otros eventos a menudo provocan que las unidades económicas sufran grandes pérdidas económicas por los daños en sus activos tangibles y por las ganancias que dejan de tener como consecuencia de la paralización de sus actividades al quedar inhabilitados los edificios, incluso sin que estos se dañen directamente.

Por consiguiente, es importante que los dueños o directivos formulen o mejoren sus planes de continuidad y de contingencia. Para ello, deben identificar adecuadamente las amenazas a las que se encuentran expuestos los negocios e indagar cómo es que estas podrían afectarlos. Una alternativa para tratar un riesgo es trasladarlo a una aseguradora contratando seguros contra daños directos y la pérdida de beneficios. Otra opción consiste en mitigar el riesgo tomando o reforzando medidas para minimizar el impacto del evento. Por ejemplo, los negocios pueden establecerse en edificios con diseños sísmicos resilientes o que, al menos, no sean altamente vulnerables sísmicamente, además de que pueden disponer de stock de reserva.

Interrupción de negocios en edificaciones de la Ciudad de México producida por el sismo del 19S de 2017

El sismo del 19S de 2017 ha sido uno de los más catastróficos en la historia de México, debido a que derivó grandes problemas sociales y económicos, entre ellos, afectaciones a las unidades económicas. Tras este evento destructivo, se observó que una gran cantidad de negocios de la Ciudad de México dejó de operar temporalmente e incluso de forma definitiva por distintas razones, tales como protocolos de seguridad iniciales, suspensión de servicios públicos de suministro, efectos de vecindario y daños físicos en los componentes de los edificios.

Dentro de los casos documentados de establecimientos económicos de la CDMX que cerraron temporalmente sin que los edificios en los que operaban sufrieran daños directos, están 25 complejos de la empresa de Cinépolis, los cuales pudieron reabrir seis días después una vez que obtuvieron un dictamen favorable en la evaluación de la seguridad de los inmuebles, mientras que dos días después del sismo, 267 tiendas de la empresa Oxxo de las 300 que habían paralizado sus actividades efectuaron su reapertura tras la restauración de la energía eléctrica. Por el contrario, varias tiendas departamentales y plazas comerciales tuvieron que suspender sus operaciones como consecuencia de los daños en el sistema estructural o en los elementos no estructurales de los edificios, entre ellas, plaza Galerías Coapa, tienda departamental de Polanco, plaza Galerías Polanco, Fórum Buenavista y centro comercial Perisur.

Aunque la participación de todos los individuos es fundamental para lograr la recuperación social y económica luego de una catástrofe, en esta investigación se concluye que la contribución de los Ingenieros Civiles es trascendental para minimizar el tiempo de interrupción de los negocios e inclusive evitar el fracaso de estos y, por lo tanto, disminuir las pérdidas por sismo. Particularmente, estos profesionistas pueden realizar diversas acciones para mejorar el comportamiento de los edificios ante sismos garantizando la seguridad de los ocupantes, además de limitar los daños para que los negocios operen lo más pronto posible tras un evento muy fuerte. Incluso, como se evidenció tras el sismo del 19S de 2017, su colaboración también estriba en la evaluación de la seguridad estructural de los edificios y la rehabilitación de las distintas infraestructuras.

Interrupción de negocios en edificaciones de Oaxaca a causa del sismo del 7 de septiembre de 2017

El terremoto del 7 de septiembre de 2017 ha sido uno de los más catastróficos en la historia moderna de México, debido a que muchas edificaciones resultaron severamente dañadas e inclusive colapsaron parcial o totalmente, además de que hubo un gran número de víctimas humanas. Por otro lado, esta investigación mostró que muchos negocios sufrieron efectos negativos. Analizando la información obtenida de las encuestas aplicadas a propietarios o empleados de 227 negocios ubicados en tres de las zonas más afectadas de Oaxaca (Unión Hidalgo, Matías Romero y Juchitán de Zaragoza), se pudo concluir lo siguiente:

- 1) La mayoría de los negocios de la muestra analizada se vieron obligados a cerrar debido a este sismo, ya que solo el 14.1% no suspendió sus operaciones. Se observó que más de la mitad de los negocios presentaron interrupción total prolongada, ya que el 54.63% no pudo ofrecer sus productos o servicios por más de un mes. En particular, en Unión Hidalgo, Matías Romero y Juchitán de Zaragoza, las unidades económicas suspendieron sus actividades, de forma respectiva, por más de seis meses y hasta un año (30%), por una semana o menos (36%) y entre tres y seis meses (34.31%).
- 2) Muchas unidades económicas suspendieron sus actividades por más de una razón. Se registró que las tres principales fuentes de interrupción fueron 1) daños al sistema estructural o en los elementos no estructurales del edificio, 2) falta de clientes y 3) desorden o daño de los contenidos. Específicamente, en Unión Hidalgo y Juchitán de Zaragoza hubo más casos con el primer motivo de cierre citado, mientras que en Matías Romero la tercera causa fue la más recurrente.
- 3) De los 213 establecimientos comerciales que ya estaban nuevamente en funcionamiento, el 88% consideró que tuvo una disminución de utilidades a los pocos días de haber reabierto, por el contrario, solo el 12% tuvo un aumento en sus utilidades. Entre los pocos negocios que se beneficiaron tras el sismo, se encontraban algunos comercios minoristas, como vidrierías y locales dedicados a la venta de material de construcción. Además, prevalecieron las empresas que percibieron que ya habían recuperado su nivel de productividad al momento de la aplicación de la encuesta (69.01%). En particular, en Juchitán de Zaragoza hubo un 35.86% de los 92 negocios que no se recuperaron, mientras que en Matías Romero fue el 32% de 75 unidades económicas y en Unión Hidalgo el 19.56% de 46 locales comerciales.

CONCLUSIONES

Con la recolección de datos fue posible proponer una forma para determinar el tiempo de interrupción del negocio por sismo con datos de entrada, en los cuales se observó que las causas que produjeron un mayor tiempo de cierre en los negocios fueron los daños a elementos estructurales o no estructurales del edificio, la falta de clientes, los daños en el edificio vecino y el desastre generalizado de la zona.

Las ecuaciones propuestas indican que, si un edificio no sufre daños en sus componentes, entonces las actividades comerciales pueden reiniciarse, según el caso, una vez que:

- Se declara que el acceso al edificio es posible sin poner en peligro la seguridad de los ocupantes.
- Los servicios públicos se restablecen luego de la rehabilitación de la infraestructura o con acciones provisionales del dueño del negocio, como el uso de plantas de emergencia.
- Un restablecimiento parcial o total del vecindario.
- Se reactivan los negocios de proveedores o se utilizan otras alternativas para conseguir suministros, o se consiguen otros clientes (incluyendo la posibilidad de emplear otras fuentes para suministrar).
- Se recupera la salud del personal o este se reemplaza temporal o permanentemente.

Sin embargo, si el edificio donde se establece la unidad económica sufre daños, es necesario llevar a cabo la reparación, refuerzo, reconstrucción, reestructuración o cualquier otra forma de intervención para restaurar el funcionamiento del inmueble, además, en algunos casos se requiere reorganizar, reparar o cambiar el contenido. Aun así, el propietario también puede tomar la decisión de reubicar temporal o permanente su unidad económica en otro edificio para operar nuevamente.

Impacto en los negocios del mercado municipal de Juchitán de Zaragoza debido a los daños en el inmueble causados por el sismo del 7 de septiembre de 2017

El sismo de Chiapas ocurrido el 7 de septiembre de 2017 ocasionó daños estructurales y no estructurales muy severos en el edificio del mercado municipal de Juchitán de Zaragoza, dejándolo inhabilitado por cerca de dos años y dos meses hasta su reconstrucción, por lo que los comercios no pudieron operar ahí durante ese período. Se documentó que gran parte del tiempo inactivo de ocupación del inmueble no se debió a la ejecución de obras de rehabilitación, sino que, a la obtención de recursos económicos, los acuerdos entre las partes involucradas y la inseguridad de operar por los daños en el edificio vecino correspondiente al palacio municipal.

De acuerdo con las técnicas de recolección de datos utilizadas, se concluye que las columnas del edificio del mercado resultaron severamente dañadas por el efecto de columna corta. Sumado a esto, hubo varios daños no estructurales en la construcción, tales como rotura de ventanas, desprendimiento de acabados y agrietamiento por cortante en muros no estructurales. Asimismo, se constató que fueron necesarias varias intervenciones para recuperar la funcionalidad del edificio, entre ellas el encamisado de columnas, una recimentación, la construcción de una cisterna y mesas de trabajo para los negocios, además de la impermeabilización de los lechos superior e inferior de la azotea de losa.

Con base en una encuesta aplicada a 165 unidades económicas del mercado, el 60% declaró que el sismo provocó directamente daños en sus bienes tangibles, adicionalmente, considerando que hubo hurto o pérdida de bienes tras el desalojo del local, además de que algunos productos se deterioraron por la paralización de las actividades comerciales, solo alrededor del 4% de los encuestados indicó que no tuvo

CONCLUSIONES

pérdidas directas derivadas del evento catastrófico. Asimismo, se documentó que la mayoría de los arrendatarios se vieron obligados a reubicar sus negocios predominantemente en la plaza principal de Juchitán y, excepcionalmente, en sus viviendas por la necesidad de una reactivación económica, en lugar de esperar a que el edificio del mercado de Juchitán recuperara su funcionalidad, aun así, aproximadamente el 45% de la muestra representativa no pudo operar por más de un mes y cerca del 34% consideró que dejó de ganar más de \$3,000 MXN (\$160 USD) durante el tiempo de interrupción absoluta de sus actividades. Incluso, el 41% de las unidades económicas respondieron que aún no habían recuperado sus ingresos habituales al momento de haber aplicado la encuesta.

REFERENCIAS

- [1] AGERS (2019) Barómetro de Riesgos 2019 de Allianz. Obtenido de Asociación Española de Gerencia de Riesgos y Seguros: <https://agers.es/barometro-de-riesgos-2019-de-allianz/>
- [2] Aghababaei M, Koliou M, Watson M, Xiao Y (2020) Quantifying post-disaster business recovery through Bayesian methods. *Struct Infrastruct Eng* 17(6):838–856. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1777569>
- [3] Aguilar JA, González R, Guerrero V, Jara M (2020) Comportamiento de templos coloniales en el sismo del 7 de septiembre de 2017 en Chiapas. *Revista de Ingeniería Sísmica* 102:26–41. DOI: [10.18867/RIS.102.502](https://doi.org/10.18867/RIS.102.502)
- [4] Alesch D, Arendt L, Holly J (2009) *Managing for Long-Term Community Recovery in the Aftermath of Disaster*. Public Entity Risk Institute.
- [5] Allianz (2020) *Allianz Risk Barometer 2020*. Múnich: Allianz.
- [6] Arce C, Rivera D, Monroy F, Delgado JC, Delgado CH (2014) *Business interruption: ante el daño sísmico, enfoque financiero*. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- [7] Archundia HI, Fernández LR, García F, Guerrero H, Peña F (2018) *Efectos de los sismos de septiembre de 2017*. XXI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- [8] ARISE (2020) *Propuesta de valor*. Obtenido de Arise: <https://arise.mx/quienes-somos/propuesta-de-valor-arise/>
- [9] ATC-13 (1985) *Earthquake damage evaluation for California*. Washington D. C, Estados Unidos: Federal Agency Emergency Management, FEMA.
- [10] Ayala AG, Escamilla MA, Palacios O (2019) *Vulnerabilidad sísmica de la red principal de agua potable de la Ciudad de México durante el sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017 en los límites de Puebla y Morelos*. XXII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.
- [11] Ayala JA, Jirald MA (2018) *Estudio del método de recrido en concreto armado para el refuerzo de vigas y columnas de una edificación*. Dissertation, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- [12] Beauperthuy JL, Urich AJ (2011) *El efecto de columna corta - Estudio de casos*. B.R.S. Ingenieros, C.A., Venezuela.
- [13] Boarnet M (1998) *Business Losses, Transportation Damage, and the Northridge Earthquake*. *Journal of Transportation and Statistics* 49-63. <https://doi.org/10.21949/1501575>
- [14] Brown C, Stevenson J, Giovinazzi S, Seville E, Vargo J (2015) *Factors influencing impacts on and recovery trends of organisations: evidence from the 2010/2011 Canterbury earthquakes*. *Int J Dis Risk Reduct* 14(1):56–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.11.009>

REFERENCIAS

-
- [15] Buendía L, Reinoso E (2019) Análisis de los Daños en Viviendas y Edificios Comerciales Durante la Ocurrencia del Sismo del 19 de Septiembre de 2017. *Revista de Ingeniería Sísmica* 101: 19-35. DOI: [10.18867/RIS.101.508](https://doi.org/10.18867/RIS.101.508)
- [16] Chang S (2016), Socioeconomic Impacts of Infrastructure Disruptions. *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard*. DOI: [10.1093/acrefore/9780199389407.013.66](https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.66)
- [17] Chang S, Falit-Baiamonte A (2002) Disaster vulnerability of businesses in the 2001 Nisqually earthquake. *Environmental Hazards*, 59-71. DOI: [10.1016/S1464-2867\(03\)00007-X](https://doi.org/10.1016/S1464-2867(03)00007-X)
- [18] Chang S, Lotze A (2014) Infrastructure contribution to business disruption in earthquakes: model and application to North Vancouver, Canada. Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering: *Frontiers of Earthquake Engineering*.
- [19] Consorcio Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina. (n.d.) Tomo I: Metodología de modelación probabilista de riesgos naturales. Informe técnico ERN-CAPRA-t1-5: Vulnerabilidad de edificaciones e infraestructura. Colombia, España y México.
- [20] Cremen G, Seville E, Baker JW (2020) Modeling post-earthquake business recovery time: an analytical framework. *Int J Dis Risk Reduct*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101328>
- [21] Domínguez N, Domínguez J (2014) El impacto económico de los desastres naturales. *eXtoikos*, 99-101.
- [22] Duncan E (2018) Interrupción de negocio: más allá de lo material. *MARSH*. <https://www.marsh.com/uy/es/insights/risk-in-context/interrupcion-de-negocio.html>. Consultado el 19 de junio de 2018.
- [23] Durkin M (1984) The Economic Recovery of Small Businesses After Earthquakes: The Coalinga Experience. *International Conference on Natural Hazards Mitigation*.
- [24] Durukal E, Erdik M (2008) Physical and economic losses sustained by the industry in the 1999 Kocaeli, Turkey earthquake. *Natural Hazards* 46: 153–178. <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9218-6>
- [25] Earthquake Engineering Research Institute (2019) Functional recovery: a conceptual framework. Federal Emergency Management Agency (17 de noviembre de 2013), Technical Manual: Earthquake Model. Obtenido de FEMA: [FEMA.gov | Federal Emergency Management Agency - FEMA.gov is experiencing technical difficulties](https://www.fema.gov/federal-emergency-management-agency-fema.gov-is-experiencing-technical-difficulties)
- [26] FEMA (2015) Herramienta QuakeSmart para Empresas. Washington D. C.: Publicaciones FEMA.
- Fernandez E (19 de octubre de 2016) Lessons From the Tianjin Explosion – Business Interruption and Contingent Business Interruption. Obtenido de Gen Re: <http://www.genre.com/knowledge/blog/business-interruption-and-contingent-business-interruption-en.html>
- [27] French S, Ewing C, Isaacson M (1984) Restoration and Recovery Following the Coalinga Earthquake of May, 1983. Institute of Behavioral Science, Natural Hazards Research and Applications Information Center, University of Colorado, Boulder.
- [28] García J, García E (2019) Cálculo de Pérdidas Indirectas Ocasionadas por Movimientos Sísmicos. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 100:71–84. <https://doi.org/10.18867/RIS.100.527>

REFERENCIAS

-
- [29] González R (2009) Estimación porcentual de pérdidas producidas por sismo en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Lacandonia, Rev. Ciencias UNICACH* 3(1) 93–105.
- [30] Gordon P, Richardson H, Davis B, Steins C, Vasishth A (1995) The Business Interruption Effects of the Northridge Earthquake. Lusk Center Research Institute, School of Urban and Regional Planning, University of Southern California, Los Angeles.
- [31] Gutiérrez J, Ayala G, Bairán J (2019) Evaluación del tiempo de recuperación de edificios de concreto reforzado dañados por sismo. XXII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.
- [32] Guzmán J, Williams F, Riquer G, Vargas A, Leyva R (2020) Fallas de licuación de suelos inducidas por el sismo de Tehuantepec del 7 de septiembre de 2017 (Mw 8.2) en la Ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz, México. *Revista de Ingeniería Sísmica* 102: 82–106. DOI: [10.18867/RIS.102.526](https://doi.org/10.18867/RIS.102.526)
- [33] Haselton C, Liel A, Deierlein G, Dean B, Chou J (2011) Seismic Collapse Safety of Reinforced Concrete Buildings: I. Assessment of Ductile Moment Frames. *American Society of Civil Engineers Journal of Structural Engineering*, 481–491. DOI: [10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000318](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000318)
- [34] Haselton C, Liel A, Lange S, Deierlein G (2007) Beam-Column Element Model Calibrated for Predicting Flexural Response Leading to Global Collapse of RC Frame Buildings. Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- [35] Instituto de Ingeniería, UNAM (2017a) Reporte preliminar: Parámetros del Movimiento del Suelo, Sismo de Puebla - Morelos (Mw 7.1), 19 de septiembre de 2017. Ciudad de México: II – UNAM.
- [36] Instituto de Ingeniería, UNAM (2017b) Reporte preliminar: Parámetros del Movimiento del Suelo, Sismo de Tehuantepec (Mw 8.2), 7 de septiembre de 2017. Ciudad de México: II – UNAM.
- [37] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017) Estadísticas sobre las afectaciones de los sismos de septiembre de 2017 en las actividades económicas. INEGI, Ciudad de México.
- [38] Jaimes M, Reinoso E (2013) Estimación de pérdidas por sismo de contenidos de edificios. Instituto de Ingeniería (SID), Ciudad de México.
- [39] Kroll C, Landis J, Shen Q, Stryker S (1991) Economic Impacts of the Loma Prieta Earthquake: A Focus on Small Business. University of California, Transportation Center and the Center for Real Estate and Economics, Berkeley.
- [40] Kumar V, Guin J (2009) Modeling Business Interruption Losses for Insurance Portfolios. 11th Americas Conference on Wind Engineering. Puerto Rico.
- [41] LEA (2019) La cobertura de inundaciones en los seguros de propiedad. Obtenido de LEA: <https://www.lea-global.com/uploads/circulares/2019/08/05-19-riesgo-de-inundacion-en-las-corporaciones3.pdf>
- [42] London Business Interruption Association (n.d.) LBIA guide to business interruption insurance and claims. Inglaterra.
- [43] Lo AY, Liu S, Chow ASY, Cheung LTO, Fok L (2021) Business vulnerability assessment: a firm-level analysis of micro- and small businesses in China. *Natural Hazards* 108: 867–890. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04710-z>

REFERENCIAS

-
- [44] Marshall MI, Niehm LS, Sydnor SB, Schrank HL (2015) Predicting small business demise after a natural disaster: an analysis of pre-existing conditions. *Natural Hazards* 79: 331–354. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1845-0>
- [45] Morales E, Niño M (2019) Tiempos de recuperación estructural óptimos para la evaluación de la resiliencia sísmica en escuelas del sector público. XXII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.
- [46] Navarro VR (2017) La economía en situaciones de desastres. Manual para la preparación comunitaria en situaciones de desastres (págs. 153-166). GEOCUBA Gráfica de Cienfuegos.
- [47] Newall P (6 de Junio de 2018) 5 reasons why purchasing Business Interruption Insurance has become a top consideration for corporations in Asia-Pacific. Obtenido de Swiss Re Corporate Solutions: https://corporatesolutions.swissre.com/insights/knowledge/business_interruption_insurance_five_reasons.html
- [48] NRC (1999) The impacts of natural disasters: a framework for loss estimation. Washington, D.C.: National Academy of Sciences Press.
- [49] OCDE (2003) Emerging risks in the 21st century. An agenda for action.
- [50] Olsen A, Porter KA (2011) What we know about demand surge: brief summary. *Natural Hazards Review (ASCE)*, 12:62–71. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000028](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000028)
- [51] Ordaz M, Miranda E, Reinoso E, Pérez LE (2000) Seismic loss estimation model for Mexico City. 12 WCEE 2000: 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland, New Zealand: New Zealand Society for Earthquake Engineering.
- [52] Ortiz D, Reinoso E (2019) Elementos que Contribuyen a la Interrupción de Negocios en Edificios por Sismo. XXII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica
- [53] Ortiz D, Reinoso E (2020) Tiempo de interrupción de negocios en la Ciudad de México por daños directos y efectos indirectos en edificios a causa del sismo del 19S de 2017. *Revista de Ingeniería Sísmica* 104:1–31. <https://doi.org/10.18867/RIS.104.538>
- [54] Ortiz D, Reinoso E, Villalobos JA (2020) Daños observados en negocios por el sismo del 23 de junio de 2020 en Oaxaca. In: Academia Journals (ed) Investigación en la Educación Superior: Puebla 2020. Academia Journals, Puebla, p.p. 656–662
- [55] Ortiz D, Reinoso E, Calderón MO (2021a) Impacto socioeconómico derivado del cierre vehicular por los daños en el puente Corpac de Tingo María, Huánuco en febrero de 2020. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras* 26(2): 313–329. <http://dx.doi.org/10.24133/riie.v26i2.2046>
- [56] Ortiz D, Reinoso E, Villalobos JA (2021b) Assessment of business interruption time due to direct and indirect effects of the Chiapas earthquake on September 7th 2017. *Natural Hazards* 108: 2813–2833. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04801-x> . "Reproducido con el permiso de Springer Nature"
- [57] Ortiz D, Reinoso E, Villalobos JA, Calderón MO (2021c) Pérdida de la operatividad de unidades económicas por distintas amenazas. XXII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- [58] Ortiz D, Reinoso E, Villalobos JA (2022) The impact of the September 7th 2017 earthquake on the businesses of the municipal market of Juchitán de Zaragoza due to property damage. Sometido para su posible publicación a la revista *Natural Hazards*.

REFERENCIAS

-
- [59] Pini B (2020) Cómo proteger a tu negocio ante inundaciones, tormentas y huracanes. Obtenido de Entrepreneur: <https://www.entrepreneur.com/article/280953>
- [60] Pozos-Estrada A, Chávez MM, Jaimes MÁ, Arnau O, Guerrero H (2019). Damages observed in locations of Oaxaca due to the Tehuantepec Mw8.2 earthquake, México. *Natural Hazards* 97: 623–641. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03662-9>
- [61] Pujol S, Rodríguez M (2019) Evaluación del comportamiento de muros no estructurales en edificios de la Ciudad de México en el terremoto del 19 de septiembre de 2017. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 53-66. DOI: [10.18867/RIS.101.529](https://doi.org/10.18867/RIS.101.529)
- [62] Ramírez CM, Liel AB, Mitrani J, Haselton C, Spear AD, Streiner J, Deierlein GG, Miranda E (2012) Expected Earthquake Damage and Repair Costs in Reinforced Concrete Frame Buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 1455-1475. DOI: [10.1002/eqe.2216](https://doi.org/10.1002/eqe.2216)
- [63] RCDF (2017) Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- [64] Rodríguez M (2019) Interpretación de los daños y colapsos en edificaciones observados en la Ciudad de México en el terremoto del 19 de septiembre de 2017. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 1-18. DOI: [0.18867/RIS.101.528](https://doi.org/10.18867/RIS.101.528)
- [65] Rose A (2017) Benefit-Cost Analysis of Economic Resilience Actions. *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard*. DOI: [10.1093/acrefore/9780199389407.013.69](https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.69)
- [66] Rose A, Lim D (2002) Business interruption from natural hazards: conceptual and methodological issues in the case of the Northridge earthquake. *Environmental Hazards*, 4, 1-14. DOI: [10.1016/S1464-2867\(02\)00012-8](https://doi.org/10.1016/S1464-2867(02)00012-8)
- [67] Saldívar B (27 de marzo de 2019) Interrupción del negocio lo que preocupa a las firmas. *El Economista*.
- [68] Scholl R (1979) *Seismic Damage Assessment for High-rise Buildings: Annual Technical Report*. San Francisco, California: URS / John A. Blume & Associates Inc. DOI: [10.3133/ofr81381](https://doi.org/10.3133/ofr81381)
- [69] Servicio Sismológico Nacional (2017a) Reporte especial: sismo del día 19 de septiembre de 2017, Puebla - Morelos (Mw 7.1). Ciudad de México: SSN – UNAM.
- [70] Servicio Sismológico Nacional (2017b) Reporte especial: sismo de Tehuantepec (2017–09–07 23:49 MW 8.2). Ciudad de México: SSN – UNAM.
- [71] Shi Y, Shumiao J, Seeland K (2015) Modeling business interruption impacts due to disrupted highway network of Shifang by the Wenchuan earthquake. *Natural Hazards* 75: 1731–1745. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1391-1>
- [72] Strano J (2018) Understanding business interruption losses. *Canadian underwriter*. <https://www.canadianunderwriter.ca/>. Consultado el 11 de abril de 2018.
- [73] Tapia E, García S (2019) Comportamiento de estructuras de acero durante los sismos de septiembre de 2017. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 36-52. DOI: [10.18867/RIS.101.499](https://doi.org/10.18867/RIS.101.499)
- [74] Thagavi S, Miranda E (2002) Seismic performance and loss assessment of nonstructural building components. 7th National Conference on Earthquake Engineering.
- [75] Tierney K (1997) Business impacts of the Northridge earthquake. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 5:2: 87-97. <https://doi.org/10.1111/1468-5973.00040>

REFERENCIAS

- [76] Torpey D (Septiembre de 2018). The Essential Equation: A Formula for Determining Business Interruption Loss. Obtenido de IRMI: <https://www.irmi.com/articles/expert-commentary/the-essential-equation-a-formula-for-determining-business-interruption-loss>
- [77] Valdiviezo RJ (2019) El desastre natural y su impacto socioeconómico en los comerciantes minoristas del mercado central de la ciudad de Portoviejo. Tesis de Licenciatura, Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- [78] Webb G, Tierney K, Dahlhamer J (2002) Predicting long-term business recovery from disaster: a comparison of the Loma Prieta earthquake and Hurricane Andrew. Environmental Hazards 4:2-3, 45-58. DOI: [10.1016/S1464-2867\(03\)00005-6](https://doi.org/10.1016/S1464-2867(03)00005-6)