

ESTUDIOS AMBIENTALES Y RIESGOS NATURALES

Aportaciones al sureste de México III

Pedro Vera Toledo (coordinador)

Colección
Cuar



UNICACH

Estudios ambientales y riesgos naturales

Aportaciones al sureste de México III

Pedro Vera Toledo
(Coordinador)



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
2013



El jaguar es uno de las especies más representativas de la fauna chiapaneca y el símbolo por antonomasia de la biodiversidad en nuestro estado. Bajo su nombre están contenidos todos los títulos pertenecientes al ámbito de las ciencias naturales producidos en la universidad.

Primera edición: 2013

D. R. ©2013. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
1ª Avenida Sur Poniente número 1460
C. P. 29000, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
www.unicach.mx
editorial@unicach.mx

ISBN 978-607-8240-20-3

Diseño de la colección: Manuel Cunjamá

Diseño de portada: Víctor Sosa

Impreso en México

Estudios ambientales y riesgos naturales

Aportaciones al sureste de México III

Pedro Vera Toledo
(Coordinador)

**Colección
Jaguar**



UNICACH

CUERPO ACADÉMICO
ESTUDIOS AMBIENTALES Y RIESGOS NATURALES

Representante
Rubén Alejandro Vázquez Sánchez

Líder la LGAC: Riesgos Naturales y Ambientales
Raúl González Herrera

Integrantes
Carlos Narcía López
Hugo Alejandro Nájera Aguilar
Carlos Manuel García Lara

Colaboradores
Rodolfo José Palacios Silva
Pedro Vera Toledo

Índice

Prólogo.....	19
Presentación	23
I. Técnicas de medición remota de contaminantes atmosféricos.....	27
<i>Carlos García Lara, Albert Orantes Jonapá, Daniel Hernández Cruz</i>	
Introducción.....	27
Teoría de las técnicas ópticas.....	31
Arreglo experimental.....	42
Resultados.....	47
Conclusiones.....	55
Referencias Bibliográficas	57
II. Manejo y disposición de los residuos sólidos no peligrosos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.....	61
<i>Pedro Vera Toledo, Alejandro Mendoza Castañeda, Juan José Villalobos Maldonado</i>	
Introducción.....	61
Antecedentes.....	63
Etapas del manejo de los residuos sólidos.....	65
Disposición final.....	67
a) Tiradero a cielo abierto.....	67
b) Relleno sanitario	67
Mantenimiento de posclausura del basurero	68
Generación de residuos sólidos en Tuxtla Gutiérrez.....	69
Composición	70
Reducción y separación en la fuente de los residuos sólidos en la cabecera municipal	72
Residuos orgánicos.....	72
Residuos inorgánicos	72
Recolección	74
Sistemas de recolección.....	76
Rutas de recolección	80

Estación de transferencia (ET), transporte y traslado	81
Tratamiento y recuperación.....	82
Disposición final.....	83
Comentarios finales	84
Referencias Bibliográficas.....	87

III. Una alternativa para el tratamiento de lixiviados maduros generados en el relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.....	91
--	----

Hugo Alejandro Nájera Aguilar, María Neftalí Rojas Valencia

Introducción.....	91
Metodología	94
Resultados y discusión	97
Conclusiones	105
Agradecimientos	105
Referencias Bibliográficas	107

IV. Investigación de sensores optoelectrónicos para la medición del consumo de corriente eléctrica, en casas-habitación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.....	113
---	-----

Rubén Alejandro Vázquez Sánchez, Jorge Luis Camas Anzueto

Introducción.....	113
Marco teórico.....	114
Señal analógica	115
Señal digital	115
Microcontrolador.....	116
Conversión analógica – digital	117
Optoelectrónica.....	119
Luz.....	120
Fibra óptica	122
Dispositivo de visualización.....	124
Rejillas de Bragg	124
Diseño de un sistema optoelectrónico para medición de corriente eléctrica de una casa habitación	127
Introducción.....	127

Descripción del sistema optoelectrónico	129
Control del sistema	130
Controlador de consumo total	130
Controlador de consumo de aparatos	131
Resultados.....	131
Conclusiones.....	134
Construcción y caracterización de un sensor de fibra óptica con rejillas de Bragg para aplicación en la medición del consumo de energía eléctrica	135
Introducción.....	135
Desarrollo experimental.....	136
Resultados.....	138
Conclusiones.....	139
Referencias Bibliográficas.....	141

V. Vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe en Tuxtla Gutiérrez..... 143

Raúl González Herrera, Juan Carlos Mora Chaparro

Introducción.....	143
La vivienda de adobe en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	144
Proyecto arquitectónico.....	148
Materiales.....	149
Consideraciones ambientales del sistema constructivo.....	151
Sistema estructural	152
Experiencia en construcciones de adobe en sismos recientes.....	156
Descripción de fallas típicas en construcciones de adobe en eventos sísmicos en México.....	161
Análisis cualitativo y cuantitativo de vulnerabilidad de sistemas constructivos de adobe.....	163
Metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica en México.....	164
Recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad del proyecto arquitectónico en construcciones de adobe	174
Técnicas de reparación de daños y rehabilitación estructural en viviendas de adobe empleadas en México y el extranjero.....	176
Propuestas de reparación de daños y rehabilitación estructural en viviendas de adobe para el estado de Chiapas	178

Conclusiones y recomendaciones	179
Agradecimiento.....	180
Referencias Bibliográficas.....	181
VI. Notas para una historia ambiental del río Sabinal (1921-2005)	187
<i>Carlos Uriel del Carpio Penagos</i>	
Introducción.....	187
Planteamiento del problema.....	188
El río Sabinal.....	189
Inundaciones en la microcuenca del río Sabinal	192
Inundaciones recientes	201
La inundación de octubre de 2003	208
Conocimiento local sobre las inundaciones y su manejo	213
Diferentes intervenciones del Estado.....	215
Apropiación de áreas federales por particulares	220
La gestión integrada del territorio.....	227
Referencias Bibliográficas.....	231
Semblanza de Autores	235
Carlos Uriel del Carpio Penagos	235
Carlos Manuel García Lara	235
Daniel Hernández Cruz	236
Albert Guadalupe Orantes Jonapá.....	237
Juan José Villalobos Maldonado	237
Alejandro Mendoza Castañeda.....	239
María Neftalí Rojas Valencia	240
Juan Carlos Mora Chaparro.....	241
Hugo Aguilar Nájera Aguilar.....	242
Pedro Vera Toledo.....	243
Raúl González Herrera	244
Rubén Alejandro Vázquez Sánchez	246
Manuel May Alarcón.....	247
Francisco Méndez Martínez.....	248

Lista de figuras

Capítulo I

Figura 1. Representación de un haz de radiación monocromática, polarizada en el plano: (a) Campo eléctrico y magnético perpendiculares entre sí, respecto a la dirección de propagación, (b) Representación bidimensional del vector eléctrico ^[19]	32
Figura 2. Refracción de la luz al pasar de un medio M1 a otro más denso M2 en el que su velocidad es menor.....	35
Figura 3. Atenuación de un haz de radiación por una disolución absorbente	39
Figura 4. Telescopio refractor MEADE, modelo ETX-80AT.....	42
Figura 5. Espectrómetro con sus componentes internos.....	43
Figura 6. Fotómetro.....	43
Figura 7. (a) Sensor y (b) Dispositivo para adaptar la fibra óptica.....	44
Figura 8. Estación de monitoreo climatológico.....	44
Figura 9. Consola de recepción de datos de la estación climatológica.....	45
Figura 10. Área de estudio en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (carta urbana 2002).....	46
Figura 11. Arreglo experimental del sistema DOAS.....	46
Figura 12. Espectro obtenido en en la zona centro de la ciudad a las 8 am.....	48
Figura 13. Delimitación espectral de los diferentes contaminantes, regiones UV-Vis.....	49
Figura 14. Promedio total por fecha para el O ₃ , en la zona centro obtenido a las 8 am.....	50
Figura 15. Gráfica del promedio de temperatura en los tres diferentes horarios de muestreo de los días de estudio.....	51
Figura 16. Gráfico de la velocidad del viento.....	51
Figura 17. Gráfica de la humedad relativa presente en los días de estudio.....	52
Figura 18. Vista panorámica de la zona centro, obtenida el 6 de marzo a las 8:30 am.....	53
Figura 19. Serie de tiempo de la concentración de O ₃ , medida con analizadores convencionales (SEMAVIHN) y el sistema DOAS, en horario matutino, zona centro.....	53
Figura 20. Muestra de O ₃ , monitoreado por la SEMAVIHN y la técnica DOAS al medio día, en la zona centro.....	54

Figura 21. Gráfico representativo del O_3 , en la zona centro, 3 pm.....	55
--	----

Capítulo II

Figura 1. Rutas de barrido mecánico, en la ciudad.	65
Figura 2. Propaganda de la campaña de separación de residuos orgánicos e inorgánicos. Fuente: Dirección de limpia y aseo público (2009)	73
Figura 3. Diagrama del sistema de recolección.....	78

Capítulo III

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.....	95
Figura 2. Gráficas de promedios (\pm error estándar): (a) Para el tratamiento con pH; (b) Para la interacción entre tratamientos.	101
Figura 3. Gráficas de promedios (\pm error estándar): (a) Para el tratamiento con H_2O_2 ; (b) Para el tratamiento con pH; (c) Para la interacción entre tratamientos.....	103

Capítulo IV

Figura 1. Ejemplo de una señal analógica	115
Figura 2. Ejemplo de una señal digital.....	116
Figura 3. Microcontrolador PIC16F877	116
Figura 4. Señal analógica.....	118
Figura 5. Muestreo de una señal analógica.....	118
Figura 6. Cuantización del muestreo	119
Figura 7. Codificación de la señal analógica	119
Figura 8. Reflexión de luz en una interfase.	121
Figura 9. Elementos de un sistema optoelectrónico típico	122
Figura 10. Estructura básica de una fibra óptica	123
Figura 11. Esquema de dos fibras, enviando y recibiendo señal.....	123
Figura 12. Pantalla de cristal líquido	124
Figura 13. Estructura de una rejilla de Bragg de fibra óptica se muestra el espectro de transmisión y la modulación del índice de refracción.....	125
Figura 14. Manecillas del medidor común.....	128
Figura 15. Esquema del diseño optoelectrónico propuesto.....	129

Figura 16. Prototipo que simula al disco giratorio de un medidor convencional de CFE	132
Figura 17. Secuencia de configuración.....	133
Figura 18. Tablero para seleccionar el mes a consultar.....	133
Figura 19. Secuencia de visualización del consumo de corriente de dispositivos electrónicos de forma individual	134
Figura 20. Sistema óptico propuesto que muestra un sensor láser de fibra formado por dos rejillas de Bragg y un medio amplificador	137
Figura 21. Corriente en el conductor en amperes vs potencia de salida del láser en μW . Se observa una disminución lineal de la potencia del láser a medida que la corriente aumenta en el conductor	138

Capítulo V

Figura 1. Mapa de la República Mexicana donde se muestra el comportamiento del empleo de viviendas de adobe en la actualidad ^[4]	145
Figura 2. Demolición en los años 2007 y 2006 de dos viviendas con dos y un niveles respectivamente, con estructuras de adobe, ubicadas en el centro histórico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.....	147
Figura 3. Clasificación de construcciones de Tuxtla Gutiérrez, según sistemas constructivos para cubiertas y para muros. [9]	148
Figura 4. (a) Variación de la resistencia al corte de las piezas de adobe, (b) Variación del módulo elástico y (c) Variación de la resistencia a compresión del conjunto adobe con mortero. Gráficas elaboradas con los estudios ^[4]	149
Figura 5. Pieza de adobe sometida a flexión por la prensa universal de la UNACH y el comportamiento del lote de adobes estudiados. ^[10]	150
Figura 6. Montaje y prueba de los especímenes de adobe en la prensa universal de la UNACH, adobe sometido a compresión. ^[10]	151
Figura 7. Montaje y prueba de las pilas de adobe en la prensa universal de la UNACH sometidas a compresión. ^[10]	151
Figura 8. Construcción típica de adobe en el centro histórico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas con espesor considerable de los muros, la cubierta es pesada, falta de mantenimiento y algunas reparaciones hechas con tabique de barro e incrustaciones de elementos de concreto.	153
Figura 9. Plantas típicas de construcciones de adobe con distintas relaciones de aspecto (1:5, 1:3 y 1:1.5, respectivamente). ^[13]	154

Figura 10. En las gráficas se muestra como se reducen las capacidades de desplazamiento y rotación para estructuras de adobe con relaciones largo ancho desde 1:1 y hasta 1:5. ^[13]	155
Figura 11. Cubierta con armaduras de madera y teja de barro típica de viviendas de adobe de Chiapa de Corzo y Tuxtla Gutiérrez. ^[14]	156
Figura 12. Daños en estructuras de adobe en el sismo del 20 de octubre de 1995 en Villaflores, Chiapas. ^[18]	158
Figura 13. Concentración de daños en Tuxtla Gutiérrez tras el sismo del 20 de octubre de 1995.....	158
Figura 14. Iglesia de la Señora de los Remedios en el estado de Puebla dañada de manera importante por el sismo de Tehuacán en 1999 ^[4]	160
Figura 15. Vivienda rural de adobe dañada por sismo 30 de septiembre de 1999. ^[3]	160
Figura 16. Colapso de estructuras de mampostería no reforzada y adobe, que adicionalmente presentan irregularidades. ^[21 y 22]	161
Figura 17. Patologías típicas en viviendas de adobe en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: poco mantenimiento del sistema, mala calidad del material, falta de recubrimiento y protección de muros y peso excesivo en cubierta.	163
Figura 18. Comparativo de la distribución porcentual de viviendas que fueron consideradas vulnerables de acuerdo a la información proporcionada por el INEGI en los censos de los años 1990 y 2000. ^[26]	166
Figura 19. Viviendas de adobe ubicadas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas y que presentan distinto nivel de vulnerabilidad de acuerdo con la metodología de la UAM, A y B, respectivamente.	168
Figura 20. Densidad de muros en función del período de la construcción de adobe. ^[20]	169
Figura 21. Curva de vulnerabilidad para la vivienda tradicional para Oaxaca, Chiapas y Guerrero, en el sureste de México construida con la metodología propuesta. ^[4]	173
Figura 22. (a) Refuerzo de muros de adobe con madera en Colombia (Cardona y otros, 2004), (b) Vivienda de adobe rehabilitada con aplanado de mortero sobre malla electrosoldada que resistió sin daños el sismo de Arequipa (Zegarra y otros, 2001) y (c) Refuerzo interior de caña en viviendas de adobe en Perú. ^[31]	178

Figura 23. Curva de vulnerabilidad para la vivienda tradicional en Chiapas antes y después de repararla.....	179
--	-----

Capítulo VI

Figura 1. Vista general de los afluentes del Río Sabinal y su trayectoria.	190
---	-----

Lista de tablas y cuadros

Capítulo II

Tabla 1. Estimación de la generación de residuos sólidos.....	69
Tabla 2. Comparación: Residuos sólidos orgánicos vs residuos sólidos inorgánicos.	70
Tabla 3. Composición porcentual de subproductos por estrato social.....	71
Tabla 4. Catálogo de atención de servicio de limpia, año 2005.....	74
Tabla 5. Frecuencia de viajes hacia el destino final y hacia la zona de transferencia por parte de los vehículos recolectores, en años 2004-2005.....	79
Tabla 6. Proporción del volumen desplazado hacia los sitios de transferencia y disposición final.....	79
Tabla 7. Promedio diario de viajes y toneladas depositadas por vehículos particulares	80
Tabla 8. Distribución de la disposición por vehículos particulares	80
Tabla 9. Rutas, frecuencias y horarios de atención de las diferentes rutas de la ciudad	81
Tabla 10. Tratamiento por residuo y objetivo perseguido.....	82
Tabla 11. Concentrado general detallado de kilogramos ingresados	83

Capítulo III

Tabla 1. Características de los lixiviados del área clausurada del sitio de disposición final de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México	97
Tabla 2. Concentración de metales pesados en lixiviados maduros de diferentes rellenos sanitarios.....	99
Tabla 3. Eficiencias de remoción en DQO obtenida para cada tratamiento en el proceso de coagulación-floculación.....	100

Tabla 4. Efecto del pH y dosis de H ₂ O ₂ sobre la remoción de DQO en el proceso Fenton.....	101
Tabla 5. Índice de biodegradabilidad en lixiviados maduros después de la aplicación de procesos avanzados de oxidación.....	104

Capítulo IV

Tabla 1. Características principales del microcontrolador PIC16F877.....	117
--	-----

Capítulo V

Tabla 1. Clasificación de los tipos de construcción en las clases de vulnerabilidad según la escala MSK-92	165
Tabla 2. Nivel de vulnerabilidad relacionando los daños ocurridos de acuerdo con la intensidad del sismo y el sistema estructural.....	167
Tabla 3. Matriz de probabilidad de daño para edificios de mampostería no reforzada y adobe, para las distintas regiones de Italia. ^[27]	170
Tabla 4. Estadísticas de los cocientes dobles de daño para la mampostería sin reforzar y adobe. ^[14]	171
Tabla 5. Estadísticas de daños medios generados en sismos recientes en ciudades del sureste y el Pacífico mexicano	172
Tabla 6. Daños medios esperados en la vivienda de adobe tradicional de Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo, Chiapas de acuerdo con la metodología propuesta. ^[14]	173
Tabla 7. Vulnerabilidad de construcciones de adobe para distintas características constructivas y estructurales.....	175
Tabla 8. Resistencia y ductilidad comparativa para los sistemas de reparación adecuados para estructuras de adobe en Chiapas.....	178

Capítulo VI

Tabla 1. Tuxtla Gutiérrez, Colonias que resultan afectadas por el desbordamiento del río Sabinal y sus afluentes	191
Tabla 2. Damificados por las inundaciones del río Sabinal en 1921	192
Tabla 3. Tuxtla Gutiérrez, 2003, Viviendas dañadas por la tormenta tropical “Larry”	209
Tabla 4. Río Sabinal, afectaciones por recuperación de zona federal en 1984	216

Tabla 5. Tuxtla Gutiérrez 1996, área hidráulica (AH) y ubicación de los puentes sobre el río Sabinal.....	217
Tabla 6. Tuxtla Gutiérrez, Puentes demolidos en el periodo 1997-1999	219
Tabla 7. Tuxtla Gutiérrez, Beneficiarios de permisos de ocupación de áreas federales 1957-1979	222

Lista de fotos

Capítulo VI

Foto 1. No es posible ubicar el sitio exacto donde fue tomada esta imagen pero es notorio el nivel que alcanzó el agua.....	197
Foto 2. Las personas sufrieron pérdida de sus propiedades, como se puede observar con esta camioneta. El agua llega exactamente a la altura de la ventanilla	197
Foto 3. Algunas personas sufrieron crisis nerviosa, como esta mujer, que es ayudada por tres jóvenes a cruzar de un lado a otro de la calle para reunirse con sus familiares.	198
Foto 4. Esta parece ser la gasolinera de la 5ª Norte y 6ª Poniente, un establecimiento que siempre resulta afectado cuando el río se desborda, ya que se ubica en su margen izquierdo.	198
Foto 5. Aquí vemos un estacionamiento y tres coches atrapados en él, con el agua cubriendo hasta la altura de la defensa.....	199
Foto 6. Vista general de una calle completamente anegada.	199
Foto 7. La fuerza de la corriente arrastró vehículos, como vemos en esta imagen, en la que un coche está a punto de estrellarse contra un árbol.	200
Foto 8. Aquí tenemos una referencia sobre un punto específico, la <i>vulcanizadora Marín</i> , enfrente de la cual estos jóvenes hicieron una cadena humana para ayudar a las personas a cruzar de un lado a otro o salvar algunas de sus pertenencias.	200
Foto 9. Tuxtla Gutiérrez, vivienda de adobe completamente destruida por la inundación de 6 de octubre de 2003 (Fuente: Subsecretaría de Protección Civil).....	210
Foto 10. Interior de una residencia abandonada en La Esmeralda. El agua alcanzó una altura superior a los 2 m.	214

Prólogo

La situación de degradación medioambiental en que se encuentra el planeta ha hecho que un número considerable de naciones, tome conciencia de la necesidad de replantear los conceptos, que hasta ahora han servido para definir crecimiento y desarrollo. En todo el mundo a nivel de instancias públicas, se han creado entidades para enfrentar esta problemática y desde la sociedad civil, también han surgido un sin número de organizaciones que trabajan en las distintas aristas que conciernen al ambiente.

En 1983 la ONU estableció la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Este grupo de trabajo conocido como Comisión Brundtland inició diversos estudios, debates y audiencias públicas en los cinco continentes, durante casi tres años. Las tareas culminaron en abril de 1987, con la publicación del documento llamado *Reporte Brundtland*. En este reporte se reconoce que la pobreza es la mayor causa y efecto de los problemas ambientales.

Este reporte sugiere que el desarrollo económico y social deben descansar en la sustentabilidad, y como conceptos claves en las políticas de desarrollo sustentable identifica los siguientes puntos: la satisfacción de las necesidades básicas de la humanidad: alimentación, vestido, vivienda y salud; la necesaria limitación de desarrollo impuesta por el estado actual de la organización tecnológica y social, su impacto sobre los recursos naturales y por la capacidad de la biosfera para absorber dicho impacto.

El presente libro, aborda la participación de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, la Universidad Nacional Autónoma de Chiapas y el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; representadas por

sus investigadores preocupados y ocupados por difundir temas de gran relevancia que ayudarán a comprender estos temas ambientales, en particular se dan a conocer seis casos de estudios de investigación relacionados con el ambiente, sucedidos o encontrados en nuestra capital del estado, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

En el capítulo uno se abordan las *Técnicas de medición remota de contaminantes atmosféricos*, a pesar de que el valle de Tuxtla no está totalmente impactada por estos contaminantes en materia de prevención y monitoreo se estudió un caso práctico en donde se dan a conocer algunos resultados que ayudarán a la toma de decisiones y ampliación de este conocimiento.

En el capítulo dos se explica el *Manejo y disposición de los residuos sólidos no peligrosos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*, comúnmente llamados residuos sólidos municipales o urbanos, la problemática de éstos y su interacción con todos los actores que participan en este ciclo, cabe señalar que el mal manejo y la incorrecta disposición son las actividades que más impactan en el medio y constituye una seria amenaza para la salud pública a lo largo y ancho de la república en donde se integran más de 2 mil 400 municipios que tiene que lidiar con esta problemática.

En el capítulo tres se da a conocer mediante otra investigación realizada *Una alternativa para el tratamiento de lixiviados maduros generados en el relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México*, en donde se describe a detalle cómo se trata el lixiviado proveniente de la degradación de la basura y con características altamente contaminantes de las aguas subterráneas, constituyendo un método de solución para contrarrestar esta problemática.

En el capítulo cuatro tenemos un claro ejemplo de la multidisciplina en estos temas ambientales, mediante el trabajo titulado *Investigación de sensores optoelectrónicos para la medición del consumo de corriente eléctrica en casas habitación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez*, donde mediante un microcontrolador optoelectrónico se contabiliza el consumo de energía, y en donde este dispositivo nos ayuda en el ahorro de energía actual y futura de la materias primas que se demandan para producir energía.

En el capítulo cinco, se aborda la problemática titulada *Vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe en Tuxtla Gutiérrez*, dando a conocer todos los

estudios que involucran el utilizar este material histórico en Chiapas para la construcción de viviendas tradicionales, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, partiendo del conocimiento de que el Estado de Chiapas, se encuentra ubicado geológicamente en una zona de alta vulnerabilidad sísmica clasificada de alto riesgo.

Finalmente en el capítulo seis se presenta otro ejemplo de la enorme cantidad de disciplinas que convergen en los temas ambientales, el trabajo se enfoca a la historia ambiental de la relación del río Sabinal con la sociedad tuxtleca, donde las construcciones a la margen de este afluyente que atraviesa la ciudad y otras muchas variables más han ocasionado una serie de inundaciones que como saldo reportan daños materiales y penosamente también pérdidas humanas.

Se espera que esta obra sea el seguimiento de muchas investigaciones que, están en proceso de ejecución y de otras que probablemente a partir de este se desarrollarán en un mediano plazo, esperando siempre contar con el apoyo para su realización de parte de las Instituciones Federales, Estatales y Municipales. Por otra parte y no menos importante que las presentes investigaciones sean difundidas, conocidas principalmente por la sociedad civil quienes son los principales usuarios de este conocimiento y replicadas por los alumnos que estudian carreras afines al ambiente y que en un futuro servirán de formación de recursos humanos de alto nivel y de desarrollo de capacidades en estos temas importantes enfocados al desarrollo sustentable.

M. en C. Juan José Villalobos Maldonado
Profesor investigador del Instituto
Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Presentación

Una de las principales actividades de toda institución de educación superior es la difusión y divulgación de nuevos conocimientos, para el caso de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, evidentemente es una tarea a la que se deben sumar no sólo el impulso de las ciencias y tecnologías sino, también de las artes, esto se lleva a cabo con la suma de muchos esfuerzos consolidados con el programa editorial de nuestra institución, lo que para muchos se considera sobresaliente, si tomamos en cuenta el tamaño y juventud de la universidad, sin embargo lo mejor de esto es que todas las obras que se publican son el resultado del trabajo comprometido de sus alumnos, docentes e investigadores.

Este libro en su tomo III, se cuenta con la participación investigadores de las tres principales instituciones de educación superior del estado, encabezados por la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, a través del Cuerpo Académico Estudios Ambientales y Riesgos Naturales de la Escuela de Ingeniería Ambiental, que además se advierte la participación de investigadores del CESMECA, y la colaboración de la Universidad Autónoma de Chiapas y el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; representadas por sus investigadores preocupados y ocupados por la divulgación de contenidos de gran relevancia que ayudarán a comprender estos temas ambientales con entusiasmo, tenacidad y sobre todo alto compromiso por la generación de nuevo conocimiento, a través de la investigación a diversos niveles, además de por supuesto, que se realizan de manera simultánea las otras tres labores sustantivas de la universidad: docencia, extensión y vinculación.

En años recientes la universidad ha crecido de manera importante y hoy se tienen programas educativos de reciente creación, así que el programa de Ingeniería Ambiental dejó de ser el más joven a pesar de que fue creado, en el año 2004. Sin embargo, en este corto tiempo de vida, ha marcado ya una huella indeleble en el quehacer intelectual y cultural de Chiapas a través del trabajo de sus académicos mediante publicaciones en revistas nacionales e internacionales, así como de libros tal es el caso, del tercer tomo, de “*Estudios ambientales y riesgos naturales. Aportaciones al Sureste de México, III*”.

Los trabajos presentados en este volumen abordan temas de actualidad e interés enfocados específicamente en dos grandes temáticas; se agrupa en torno a los denominados Estudios Ambientales, que a su vez aglutina cuatro capítulos, en el primero los autores versan sobre *Técnicas de medición remota de contaminantes atmosféricos*, innovadoras maneras de hacer mediciones utilizando herramientas ópticas, para realizar no sólo determinación de ciertos contaminantes presentes en la atmósfera, sino la concentración de los mismos, en menor tiempo, y con un alcance en términos de distancia-superficie mucho mayor que las técnicas convencionales. Los capítulos segundo y tercero *Manejo de los residuos sólidos no peligrosos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas* y *Una alternativa para el tratamiento de lixiviados maduros generados en el relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México* tratan la problemática de los residuos sólidos, en el primero de ellos los autores hablan sobre el manejo de los residuos sólidos no peligrosos en el municipio, desde la generación pasando por la recolección, traslado transferencia, segregación y hasta la disposición final; en el tercero, el autor propone una *alternativa para el tratamiento de lixiviados maduros generados en el sitio de disposición final de residuos del municipio*, que como es sabido, prácticamente en todo el país el principal método de tratamiento de estos contaminantes, es la recirculación en el mismo sitio, sin llegar a conocer la efectividad de esta medida. Finalmente en el cuarto capítulo los autores presentan una *Investigación de sensores optoelectrónicos para la medición del consumo de corriente eléctrica, en casas habitación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez*. Con ello, se pretende que los habitantes del inmueble, sean consientes del consumo de energía

eléctrica y a su vez del pago por éste ante CFE. Los autores proponen dos estructuras de sensores optoelectrónicos para realizar este proceso: uno de ellos es un medidor digital de corriente eléctrica, se describe a través de un diagrama a bloques el procedimiento y cómo funciona el circuito, además de analizar ventajas respecto a los medidores convencionales. La segunda estructura propuesta consiste de un sistema láser de fibra óptica, en él un dispositivo llamado rejilla de Bragg de fibra óptica esta adherido a un conductor de cobre por el que circula una corriente eléctrica. Al momento de aumentar el consumo de corriente eléctrica el conductor cambia en temperatura transfiriendo calor a la rejilla de Bragg y esta a su vez modifica sus propiedades termo-ópticas dando lugar a una disminución gradual de la intensidad de salida del láser. La medición de la señal de salida del láser es una cuantificación de la corriente que se está consumiendo.

La siguiente temática *Los riesgos naturales*, que abarcan dos capítulos: el quinto presenta un estudio sobre la: *Vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe en Tuxtla Gutiérrez* donde el autor discute la vulnerabilidad sísmica de los sistemas constructivos de adobe en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, mismo que cuenta con un número importante de construcciones de este tipo, algunas de ellas con valor histórico. Tal como ocurre en muchos ámbitos, no existen las herramientas para el análisis de este fenómeno, por tal motivo el autor presenta dos propuesta, una relacionada con los índices de vulnerabilidad para estructuras de adobe y la otra con alternativas de reparación y/o reforzamiento que han sido estudiadas en distintos centros de investigación en nuestro país y el extranjero. Finalmente el sexto y último, una brillante colaboración, que aborda una reseña histórica sobre las continuas inundaciones y percances que padece la población aledaña al río Sabinal en esta ciudad capital, en un periodo de tiempo que comprendido de 1921 al 2005, presentando un seguimiento de vicisitudes que abarcan desde el peligro, los costos, aplicación de recursos y las acciones de autoridades, a que se exponen los habitantes, que ya sea por propia decisión u obligados por las circunstancias, asientan sus viviendas en los márgenes del afluente.

La idea principal es que en las conclusiones plasmadas contengan datos estadísticos y datos duros, acompañados de propuestas que a su vez sirvan para los tomadores de decisiones en esos temas.

Pedro Vera Toledo
Docente de la UNICACH
Participante del Cuerpo Académico

I. Técnicas de medición remota de contaminantes atmosféricos

Carlos García Lara, Albert Orantes Jonapá, Daniel Hernández Cruz

Introducción

La contaminación, fenómeno cada vez más preocupante, es definida como cualquier alteración del medio que puede provocar algún daño o desequilibrio en éste, generado como consecuencia de la actividad humana. La atmósfera, uno de los medios más afectados, está constituida naturalmente por gases como Nitrógeno (N_2), 78%, Oxígeno (O_2), 21%, Argón (Ar), 1% y Dióxido de carbono (CO_2), 0.04%, los cuales no son reactivos con las variaciones de presión, temperatura y radiación solar. Sin embargo, debido a las emisiones de automóviles, industria, y en áreas rurales por emisiones procedentes de incendios forestales^[1], se ha visto afectada en su composición química afectando de forma directa la calidad de vida de los seres vivos. Dentro de la gran variedad de contaminantes presentes en la atmósfera se encuentran el monóxido de carbono, dióxido de azufre, partículas suspendidas, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COV), siendo los dos últimos los que constituyen el smog, debido a la formación de ozono y otras moléculas oxidantes^[2].

Existen una gran variedad de técnicas de medición de estos contaminantes atmosféricos^[3]. Sin embargo, debido a que estas emisiones se dispersan rápidamente en la atmósfera bajo condiciones de flujo no estacionarios, las concentraciones son extremadamente bajas, en algunas

ocasiones por debajo de niveles de una parte por millón (ppm), lo cual significa un reto tecnológico y científico importante. Normalmente, las emisiones de gases son medidas y monitoreadas utilizando métodos químicos de contacto, donde el gas es extraído del medio ambiente para su medición y caracterización, utilizando reacciones químicas específicas, para la detección y concentración de las mismas. Sin embargo, existen diferentes desventajas utilizando estas técnicas como son muestreos por largos periodos de tiempo, existencia de muchas fuentes de error relacionadas a la extracción y manipulación del contaminante y la cuantificación resulta complicada^[4].

Sin embargo existen diferentes técnicas ópticas para la caracterización, detección y control de gases^[5,6], basadas en espectrofotometría, las cuales pueden ser clasificadas en dos bloques: el primero aísla una muestra del medio ambiente y la analiza, mientras que el segundo realiza el análisis en el lugar, este último puede a su vez ser subdividido en aquellos que requieren de una retroalimentación, y los que se realizan en un sistema abierto. Éste último es conocido como técnica óptica de medición remota (ROMT). Existe una gran variedad de aplicaciones que utilizan esta técnica, emisiones de vehículos de combustión^[7-10], monitoreo de gases tóxicos o explosivos^[11,12], y calidad del aire, por ejemplo en ambientes urbanos^[13,15]. Esta técnica permite la medición sobre áreas extensas, normalmente de algunos cientos de metros, aunque estas mediciones se ven afectadas por la dispersión y otros mecanismos de interferencia debido al área de monitoreo^[15].

La medición remota de la concentración de contaminantes por técnicas ópticas está basada en la absorción de la radiación electromagnética de longitudes de onda, normalmente en el ultravioleta o infrarrojo y ocasionalmente en el visible, por las moléculas contaminantes. Su funcionamiento se basa en tres modelos básicamente, mediciones dispersivas, mediciones no dispersivas, y mediciones con un rango estrecho de longitudes de onda.

En las mediciones dispersivas, el espectro de absorción de los contaminantes es medido sobre un rango amplio de longitudes de onda. Este espectro contiene perfiles de absorción característicos de todas las partículas presentes, y aquellas absorciones características de las

partículas de interés son obtenidas matemáticamente. Los sistemas utilizados en este modelo utilizan la región UV para compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y para óxidos de nitrógeno (NOx)^[16], entre otros, y para la región IR para compuestos como monóxido de carbono, dióxido de carbono y amonio^[17].

La principal ventaja de las técnicas dispersivas es que puede hacer uso de todas las bandas de absorción de las partículas contaminantes que se desean cuantificar, únicamente seleccionando una banda específica. Esto permite una elevada precisión en la medición de las partículas sobre otras partículas interfiriendo con bandas de absorción en la misma región. Otra ventaja es que los instrumentos no requieren cambios físicos para medir otras partículas de interés, ya que los datos del espectro obtenido pueden ser procesados nuevamente para obtener información de partículas que no fueron consideradas inicialmente.

Las mediciones no dispersivas son comúnmente las más utilizadas para medir la concentración de partículas en una configuración de sistema abierto, esta técnica depende del ancho de banda de excitación de las partículas en el camino óptico y de la detección selectiva de la absorción utilizando un filtro pasa-banda (interferencia), antes del detector para seleccionar una única frecuencia de absorción característica para la partícula contaminante deseada. Una segunda medición es normalmente realizada a una frecuencia que ninguna de las partículas absorba. Esto se utiliza como referencia para compensar la dispersión debida al polvo, suciedad, etcétera. en el camino óptico. Estas son las bases de la técnica espectroscópica de absorción óptica diferencial (DOAS). La modulación de la fuente y el uso de un amplificador *lock-in* en el detector son útiles para eliminar interferencias por otras fuentes de radiación como reflexiones solares. Esta técnica es ampliamente utilizada en las regiones del infrarrojo[18] y ultravioleta. Sin embargo esta técnica se ve afectada por problemas de interferencia, lo que dificulta la precisión en la medición.

El problema de medir un único contaminante de los demás que pueden interferir, puede ser resuelto si la técnica de medición tiene suficiente resolución que permita extraer líneas rotacionales individuales de la estructura vibrando. El uso de excitación de las bandas y

la detección de longitudes de onda específicas, hace posible la selección de frecuencias de absorción rotacional únicas mediante el uso de láseres sintonizables para este propósito debido a su tamaño reducido, portabilidad y habilidad para barrer en longitudes de onda sobre una banda estrecha de absorción.

Los sistemas de absorción diferencial LIDAR (DIAL) emplean láseres para medir la razón de concentración de perfiles y emisión de masas de partículas contaminantes. Esta técnica se basa en la dispersión de la luz láser por partículas suspendidas, y la detección de esta luz dispersada utilizando un telescopio. La absorción óptica de las especies de interés es normalizada utilizando otro láser con una longitud de onda que no sea absorbida por las partículas analizadas. Los sistemas DIAL son comúnmente empleados para medir los flujos de emisión de compuestos volátiles orgánicos (VOC) e hidrocarburos provenientes de plantas petroquímicas, utilizando láseres con intensidades por debajo de los límites de seguridad de los ojos.

Los sistemas abiertos anteriormente expuestos, presentan problemas de calibración debido a la presencia de fluctuaciones y absorción de otras partículas, además de la necesidad de re-calibración de los instrumentos, además de conocer bajo qué características se hace necesaria esta re-calibración.

Existen dos formas relativamente similares para la calibración, basadas en el uso de gases de referencia. La primera es utilizando una celda sellada con un gas estándar de referencia o mezcla de gases. El gas debe ser estable en largos periodos de tiempo, y la celda debe estar perfectamente sellada. La elección del material para la celda es difícil y la metodología de calibración debe tomar en cuenta no únicamente la absorción por la ventana a las longitudes de onda de medición, sino también pérdidas por reflexión y dispersión causadas por la introducción de la celda al camino óptico del haz de muestreo. Otra forma es circulando el gas de referencia diluido, utilizando un gas inerte como el nitrógeno a través de una celda abierta. La medición de la concentración del gas de referencia en diferentes puntos a lo largo de la trayectoria del haz dentro de la celda se realiza utilizando instrumentos convencionales.

Una técnica de calibración desarrollada recientemente, se basa en la caracterización precisa de las líneas del espectro del instrumento y de la calidad de la digitalización de los datos almacenados del espectro de los gases de referencia a ser calibrados. Esta técnica utiliza las líneas del espectro medido como una función de transferencia para deconvolucionar el espectro medido de tal forma que pueda ser cuantificado comparándolo con los datos del espectro de referencia.

Estos instrumentos operan en ambientes sin control y el volumen del espacio que se muestrea está sujeta a interferencias meteorológicas y fenómenos de dispersión, excesiva cantidad de partículas que ocasionan el bloqueo del camino del haz, excesiva humedad ambiental que ocasiona esparcimiento o un nivel inaceptable de interferencia por cruce, medida de la velocidad del viento ocasionando dispersión a una razón que causa que el instrumento falle en seguir las fluctuaciones de los niveles de emisión, cegado temporal del detector debido a reflexiones solares, además de una gran cantidad de factores que podrían no ser normalmente vistos en laboratorio.

Teoría de las técnicas ópticas

La medición de contaminantes atmosféricos por técnicas ópticas se basa en la interacción de las partículas contaminantes con la radiación electromagnética, esta teoría puede ser representada como un campo eléctrico y magnético que está en fase, con oscilaciones sinusoidales en ángulo recto entre ellos, respecto a la dirección de propagación. La figura 1, presenta la radiación para un haz individual polarizado en el plano yz, moviéndose en la dirección x.

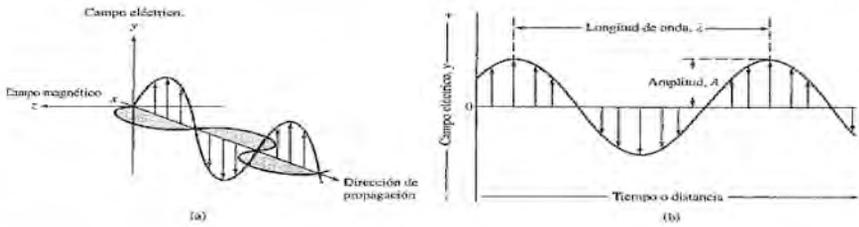


Figura 1. Representación de un haz de radiación monocromática, polarizada en el plano: (a) Campo eléctrico y magnético perpendiculares entre sí, respecto a la dirección de propagación, (b) Representación bidimensional del vector eléctrico^[9]

El campo eléctrico es el responsable de la mayoría de los fenómenos que involucran la transmisión, reflexión, refracción y absorción. Muchas de las propiedades de la radiación electromagnética se aplican adecuadamente con un modelo clásico de onda sinusoidal, que utiliza parámetros como la longitud de onda (λ), la frecuencia (ν) y la velocidad de propagación v_i , expresada en metros por segundo

$$v_i = \nu \cdot \lambda_i \quad (1)$$

Otro parámetro es la amplitud A , definida como la longitud del vector eléctrico en el máximo de la onda. A diferencia de otros fenómenos ondulatorios, como el sonido, la radiación electromagnética no necesita un medio de apoyo para transmitirse y, por tanto, se propaga fácilmente a través del vacío. Es importante tener en cuenta que la frecuencia de un haz de radiación está determinada por la fuente y permanece invariable. Por el contrario, la velocidad de la radiación depende de la composición del medio que atraviesa por tanto se puede ver a partir de la ecuación 1, que la longitud de onda de la radiación depende también del medio. El subíndice i , pone de manifiesto esta dependencia.

En cualquier medio, la propagación de la radiación disminuye a causa de la interacción del campo electromagnético y la materia. Dado que la frecuencia radiante permanece invariable y viene dada por la fuente,

la longitud de onda debe disminuir cuando la radiación pasa del vacío a algún otro medio. Si se toma el tiempo como una variable, la onda en la figura 1b, puede definirse mediante la ecuación

$$y = A \text{sen}(wt + \phi) \quad (2)$$

en la que y es el campo eléctrico, A es la amplitud o valor máximo de y , t es el tiempo, ϕ es el ángulo de fase, w es la velocidad angular del vector y y se relaciona con la frecuencia de la radiación ν , por medio de la ecuación

$$w = 2\pi\nu \quad (3)$$

Sustituyendo esta relación en la ecuación 2, se tiene

$$y = A \text{sen}(2\pi\nu t + \phi) \quad (4)$$

El principio de superposición establece que, cuando dos o más ondas atraviesan la misma región del espacio, se produce un desplazamiento igual a la suma de los desplazamientos causados por las ondas individuales. Este principio aplica a ondas electromagnéticas en las que los desplazamientos son fruto de un campo eléctrico, así como a otros tipos de onda en las que se desplazan átomos o moléculas. Cuando n ondas electromagnéticas que se diferencian en su frecuencia, amplitud y ángulo de fase pasan al mismo tiempo por un punto del espacio, se puede describir basándose en el principio de superposición, obteniendo el campo resultante^[19]

$$y = A_1 \text{sen}(2\pi\nu_1 t + \phi_1) + A_2 \text{sen}(2\pi\nu_2 t + \phi_2) + \dots + A_n \text{sen}(2\pi\nu_n t + \phi_n) \quad (5)$$

Otra característica importante es la transmisión de la radiación, la cual se define como el índice de refracción de un medio, medida de su interacción con la radiación

$$n_i = \frac{c}{v_i} \quad (6)$$

En donde n_i es el índice de refracción para una frecuencia determinada i , v_i es la velocidad de la radiación en el medio y c , es su velocidad en el vacío. La interacción implicada en la transmisión puede atribuirse a la polarización periódica de las formas atómicas o moleculares que constituyen el medio. La polarización significa una deformación transitoria de las nubes de electrones asociadas a los átomos o las moléculas, causada por el campo electromagnético alternante de la radiación. Puesto que la radiación no se absorbe, la energía requerida para la polarización solo se retiene momentáneamente (10^{-14} a 10^{-15} segundos) y se emite de nuevo sin alteración cuando la sustancia vuelve a su estado original. Ya que no hay un cambio neto de energía en este proceso, la frecuencia de la radiación emitida no varía, pero la velocidad de su propagación disminuye a causa del tiempo necesario para que se produzca la retención y la reemisión.

La radiación a partir de partículas polarizadas debería emitirse en todas las direcciones de un medio. Si las partículas son pequeñas, se puede demostrar que la interferencia destructiva impide la propagación de cantidades significativas en cualquier dirección que no sea la de la trayectoria original de la luz. Si el medio contiene partículas grandes (como moléculas de polímeros o partículas coloidales), esta interferencia destructiva es incompleta y una porción del haz se dispersa en todas direcciones como consecuencia de la etapa de interacción.

La variación del índice de refracción de una sustancia con la longitud de onda o con la frecuencia se denomina dispersión refractiva, y se pueden representar en dos tipos de regiones: región de dispersión refractiva normal y dispersión refractiva anómala. En la primera región hay un aumento gradual del índice de refracción al aumentar la frecuencia (o disminuir la longitud de onda), en la segunda región, son aquellos intervalos de frecuencia en las que se observa un cambio brusco del índice de refracción, y siempre ocurre a frecuencias que corresponden a la frecuencia armónica natural asociada con alguna parte de la molécula, átomo o ion de la sustancia.

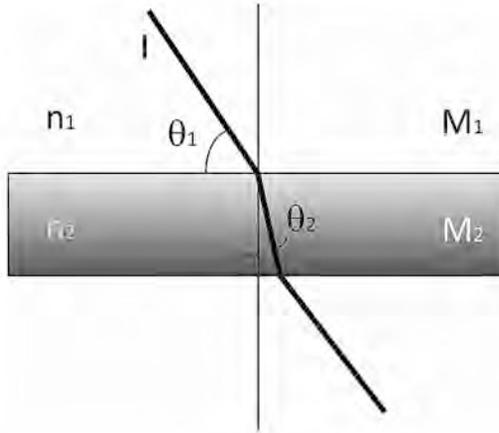


Figura 2. Refracción de la luz al pasar de un medio M1 a otro más denso M2 en el que su velocidad es menor.

Cuando la radiación incide con un ángulo en la interface entre dos medios transparentes que tienen densidades diferentes, se observa un cambio brusco en la dirección, o refracción, del haz de luz como consecuencia de una diferencia en la velocidad de la radiación en los dos medios. Cuando un haz pasa de un medio menos denso a uno más denso, como se muestra en la figura 2, la desviación se acerca a la normal hasta la interface. Cuando pasa de un medio más denso a otro menos denso, se observa una desviación separándose de la normal, la magnitud de esta refracción viene dada por la ley de Snell

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad (7)$$

Si M₁ en a figura 2 representa el vacío, v₁ se iguala a c, y el valor de n₁ es la unidad, la ecuación 7 se simplifica a

$$(n_2)_{vac} = \frac{(\text{sen}\theta_1)_{vac}}{\text{sen}\theta_2} \quad (8)$$

El índice de refracción de la sustancia M2 puede calcularse a partir de las medidas de q_1 , en el vacío y de θ_2 , en la sustancia. Cuando la radiación atraviesa una interface entre medios con diferente índice de refracción, se produce siempre una reflexión. La fracción de radiación reflejada es tanto mayor, cuanto mayor sea la diferencia entre los índices de refracción. Para un haz que incide perpendicularmente en una interface, la fracción reflejada viene dada por

$$\frac{I_r}{I_0} = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2} \quad (9)$$

Donde I_0 , es la intensidad del haz incidente e I_r , es la intensidad reflejada; n_1 y n_2 , son los índices de refracción de los dos medios.

Cuando la radiación atraviesa una capa de un medio sólido, líquido o gaseoso, ciertas frecuencias pueden eliminarse selectivamente por absorción, un proceso en el que la energía electromagnética se transfiere a los átomos, iones o moléculas que componen la muestra. La absorción provoca que estas partículas pasen de su estado normal a temperatura ambiente, o estado fundamental, a uno o más estados excitados de energía superior. De acuerdo con la teoría cuántica, los átomos, moléculas o iones sólo tienen un número limitado de niveles de energía discretos; de tal modo que para que se produzca la absorción de la radiación, la energía de los fotones excitados debe coincidir exactamente con la diferencia de energía entre el estado fundamental y uno de los estados excitados de las especies absorbentes. Como estas diferencias de energía son características para cada especie, el estudio de las frecuencias de la radiación absorbida proporciona un medio para caracterizar los componentes de una muestra^[19].

La permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética de un medio diferente del vacío dependen, además de la naturaleza del medio, de la longitud de onda de la radiación. De esto se desprende que la velocidad de propagación de la radiación electromagnética en un medio depende también de la longitud de onda de dicha radiación. Por tanto, la desviación de un rayo de luz al cambiar de medio será diferente para cada longitud de onda, fenómeno conocido como dispersión. Es el causan-

te de la aberración cromática, el halo de colores que se puede apreciar alrededor de los objetos al observarlos con instrumentos que utilizan lentes como prismáticos o telescopios^[20]. La dispersión es un fenómeno óptico de la cual existen varios tipos, pero de los más estudiados son la Dispersión Rayleigh y Mie. La dispersión Rayleigh es un fenómeno de esparcimiento que se produce cuando la luz encuentra en su camino partículas extrañas al medio continuo, cuyo diámetro P , es mucho menor que la longitud de onda de la señal. La difracción resultante absorbe parte del espectro energético de la señal K , y produce una pérdida de energía que decrece exponencialmente con la cuarta potencia de la longitud de onda λ^4 ,

$$P = \frac{K}{\lambda^4} \quad (10)$$

Para el caso de pérdidas por efecto Rayleigh, estas son las de mayor influencia para las longitudes de onda comprendidas entre 400 y 1100 nanómetros. Evitarlas favorece, por tanto la utilización de longitudes de onda más altas^[21]. Imaginemos un haz de luz entrando a un gas. Las moléculas en el gas están distribuidas al azar, con una distancia promedio entre ellas más grande que la longitud de onda de la luz. Si el tamaño de la partícula es mucho más pequeño que la longitud de onda de la luz, tenemos el fenómeno llamado dispersión Rayleigh. En este proceso, cada partícula o molécula absorbe la energía luminosa y luego la remite en todas direcciones, a diferencia, en la dispersión Mie, las partículas esparcidoras son grandes, de orden mayor que la longitud de onda de la luz, fue estudiado por Gustav Mie en 1908, la luz esparcida por una fracción pequeña de la partícula puede interferir, constructiva o destructivamente, con la luz esparcida por otra fracción de la misma partícula. Por lo tanto, el esparcimiento en una dirección dada es el resultado de la superposición de las ondas esparcidas por cada fragmento pequeño de partícula. La diferencia de fases entre estas ondas secundarias es pequeña en la dirección de haz incidente, lo que explica que la irradiancia sea grande. Es probable que el más común de los fenómenos asociados con el esparcimiento sea el que da el color azul al cielo. Esta

se debe a la dependencia del esparcimiento Rayleigh, producido por las moléculas del aire de la atmósfera, que ocasiona que la luz azul sea más esparcida que la roja. El sol y la luna se ven más enrojecidos cerca del horizonte, debido a que la luz emitida por ellos no llega al ojo, sino que se esparce en todas direcciones^[22]. El espectro electromagnético incluye una amplia gama de tipos de radiaciones emanada de diversas fuentes. De la teoría de Maxwell se tiene que las propiedades de estas radiaciones, difieren enormemente de sus medios de producción y de la forma que las observamos; pero todas estas propiedades pueden ser descritas en función de los campos eléctricos y magnéticos, y todas se desplazan por el vacío con la misma velocidad (la velocidad de la luz). Los nombres asignados a las regiones del espectro, tienen que ver sólo con la forma en que se producen u observan los tipos de ondas: nada tiene que ver con alguna propiedad básica. El modelo ondulatorio falla al intentar explicar fenómenos asociados con la absorción o la emisión de energía radiante. Para poder comprender estos modelos hay que acudir a un modelo corpuscular en el que la radiación electromagnética se contempla como un flujo de partículas discretas, o paquetes ondulatorios, de energía denominados como fotones, en los que la energía de un fotón es proporcional a la frecuencia de la radiación^[19].

Los métodos espectro-químicos requieren la medida de la potencia radiante P , que es la energía de un haz de radiación que alcanza un área dada por segundo. En los instrumentos modernos, la potencia radiante se determina con un detector de radiación que convierte la energía radiante en una señal eléctrica S . Generalmente S , es un potencial o una corriente que idealmente es directamente proporcional a la potencia radiante

$$S = kP \quad (11)$$

Donde k , es una constante. Muchos detectores muestran una pequeña respuesta constante, denominada *corriente oscura*, en ausencia de radiación. En esos casos, la respuesta se establece mediante la relación

$$S = kP + k_d \quad (12)$$

Donde k_p , es la corriente oscura, la cual es generalmente pequeña y constante al menos durante cortos períodos de tiempo. Los instrumentos espectro-químicos están normalmente equipados con un circuito compensador que reduce k_p , a cero cuando se realizan las medidas.

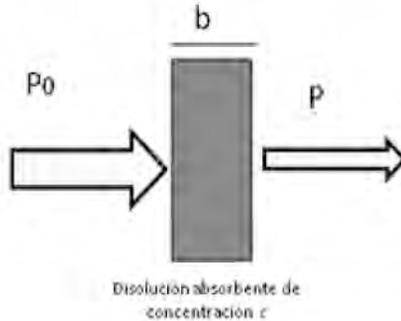


Figura 3. Atenuación de un haz de radiación por una disolución absorbente

La figura 3, muestra un haz de radiación antes y después de atravesar un medio que tiene un espesor b , en cm y una concentración c , de una especie absorbente. Como consecuencia de las interacciones entre los fotones y los átomos o moléculas absorbentes, la potencia del haz disminuye de P_0 , a P .

De lo anterior, la fracción de radiación incidente transmitida por el medio, conocida como transmitancia T , es

$$T = \frac{P}{P_0} \quad (13)$$

La absorbancia A , de un medio es una medida de la disminución de la potencia radiante, definida por

$$A = -\log_{10} T = \log \frac{P_0}{P} \quad (14)$$

Al contrario de la transmitancia, la absorbancia de un medio aumenta cuando la atenuación del haz se hace mayor.

El espesor b , por el cual viaja el haz de entrada es otro parámetro importante en la señal de salida, ya que de este depende la absorción de la luz en relación con la concentración de la solución. La ley de Beer-Lambert establece que la intensidad de un rayo de luz monocromática disminuye exponencialmente a medida que aumenta la concentración del medio que la absorbe.

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-kc} \quad (15)$$

$$A = \log \frac{I_0}{I} = kc \quad (16)$$

Donde k , es la constante para una solución específica c , es la concentración de la solución, referida a la ley de Bourguer. Esta ley establece que cada capa de igual espesor absorbe una fracción igual de la luz que la atraviesa. Por tanto, cuando un rayo de luz monocromática pasa a través de un medio que la absorbe, su intensidad disminuye exponencialmente a medida que la longitud del medio aumenta^[23].

La relación entre la absorción de la luz por una solución diluida o por un gas y la concentración de la fase absorbente viene dada por la ley de Beer, mientras que la relación entre la absorción de la luz y el camino recorrido por ésta viene dada por la ley de Lambert. Por lo cual es conveniente considerar ambas leyes conjuntamente.

Para deducir la ecuación que se busca, se postula en primer lugar, cada cuanto de luz que penetra la solución tiene igual oportunidad de ser absorbido. Esto implica que la luz es monocromática. En segundo lugar, se postula que cada molécula de la sustancia que absorbe tiene igual oportunidad de interceptar y absorber un cuanto de luz, cualquiera que sea su situación dentro de la trayectoria del medio. La intensidad de la radiación $I(\lambda)$, al propagarse por un medio gaseoso como es la atmósfera y sin tomar en cuenta procesos de dispersión, disminuye exponencialmente con la concentración de los gases que la componen (c_j), con los coeficientes de absorción (σ_j) así como con la

longitud del medio absorbente (L), con respecto a la intensidad inicial $I_0(\lambda)$. Cuantitativamente este proceso puede ser descrito por la ley de Beer-Lambert^[24].

$$I(\lambda) = I_0(\lambda)e^{-L\sigma_i(\lambda)c_i} \quad (17)$$

La ecuación 17, aplica para las técnicas ópticas de percepción remota, las cuales miden las interacciones entre la energía radiante y la materia. Los primeros instrumentos de esta clase se crearon para su aplicación dentro de la región visible y por eso se llaman instrumentos ópticos. Hoy en día, este término se usa para los instrumentos que miden un rango más amplio de energía radiante. La energía radiante que se utiliza para estas mediciones puede variar desde los rayos X, pasando por la luz visible, hasta las ondas de radio. El parámetro usado frecuentemente para caracterizar la energía radiante es la longitud de onda. Esta energía también está formada por fotones o paquetes de energía que pueden interactuar con la materia. La energía de un fotón se relaciona con su longitud de onda de la siguiente manera

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (18)$$

Donde h , es la constante de Planck, equivalente a 6.63×10^{-27} ergios-s, y c , es la velocidad de la luz, igual a 3×10^{10} cm/s. Esta ecuación indica que los rayos X, de longitud de onda corta, son relativamente de alta energía y por esta razón pueden producir cambios marcados en la materia, y que las microondas y las ondas de radio tienen longitudes de ondas largas y son relativamente de baja energía, por lo que los cambios que pueden ocasionar al interactuar con la materia son muy leves y difíciles de detectar. El uso de radiaciones de diferentes contenidos energéticos permite determinar las diferentes propiedades de los materiales. Los métodos ópticos de análisis se pueden diseñar para medir la capacidad de un material o de una solución para absorber energía radiante, para emitir radiación cuando son excitados por una fuente de energía, o para dispersar o difundir radiación.

Arreglo experimental

Para la medición remota de contaminantes atmosféricos se desarrolló un sistema DOAS pasivo, el cual utilizó un telescopio refractor acromático marca MEADE modelo ETX-80AT, como se muestra en la figura 4, con apertura de 80 mm, longitud focal de 400 mm, relación focal, (relación fotográfica) enfoque más cercano (aproximadamente): 5.2 m, capacidad de resolución: 1.6 segundos de arco, recubrimientos ópticos múltiples estándar, magnitud de límite visual de aproximadamente 11.5 m, escala de imagen de 4.1° por pulgada, magnificación máxima alcanzable de 240x, dimensiones del tubo óptico: 9.3D x 30.4 a 37.1 cm L, oculares incluidos, SP269, 7 mm (31.75 mm D). Este telescopio cuenta con un ocular, encargado de amplificar la imagen formada por el objetivo.

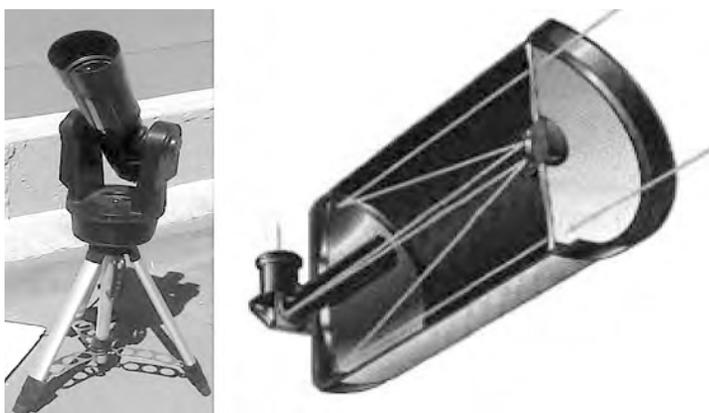


Figura 4. Telescopio refractor MEADE, modelo ETX-80AT

Otro de los componentes del sistema propuesto fue un espectrofotómetro UV, el cual abarca las longitudes de onda específicas para el monitoreo de los contaminantes (150-450 nm), como son: Ozono (O_3), Monóxido de Nitrógeno (NO), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Dióxido de Azufre (SO_2), ácido Nitroso (HONO) y Benceno (C_6H_6).

El espectrofotómetro utilizado fue de la marca BW TEK, modelo BR-C112E integrado con un dispositivo de carga acoplada (CCD) este es un dispositivo usado en fotometría óptica UV, cuando la radiación inci-

de en la CCD, se liberan electrones que se acumulan en las capacitores estos son transmitidos por pulsos electrónicos y contabilizados por un circuito que además amplifica la señal de salida y vacía el capacitor. En la figura 5, se presentan los componentes internos del espectrofotómetro.

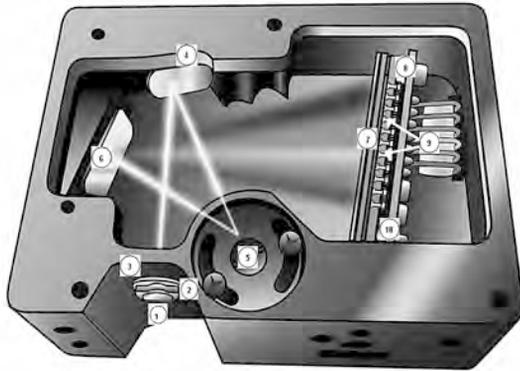


Figura 5. Espectrómetro con sus componentes internos

Las intensidad de la radiación fue cuantificada con un fotómetro marca NOVA II de OPHIR, mostrado en la figura 6, el cual representa gráficamente la intensidad de energía contra longitud de onda, que va desde 350 hasta 850nm, este instrumento cuenta con un sensor en el visible, ver figura 7(a), el cual recibe la señal y la representa gráficamente en el fotómetro. El sensor se adaptó mediante un dispositivo que aísla el ruido de fondo, utilizando una fibra óptica conectada en el centro del sensor como se muestra en la figura 7(b).



Figura 6. Fotómetro.

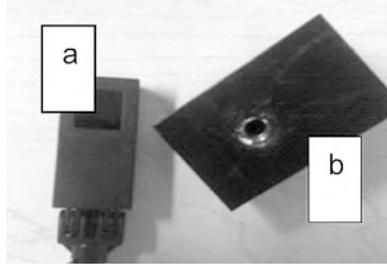


Figura 7. (a) Sensor y (b) Dispositivo para adaptar la fibra óptica.

Otros parámetros necesarios de medir para el análisis de datos, debido a la relación que presentan con la formación, transporte y precipitación de contaminantes, son las condiciones climatológicas, utilizando un dispositivo de medición, presentado en la figura 8, el cual consta de sensores activados (ISS), se colectaron los datos meteorológicos y éstos a su vez se enviaron a una consola Vantage pro2 (ver figura 9), de forma inalámbrica. Este dispositivo posee sensores para monitorear precipitación, temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, radiación solar y radiación UV, entre otros. Este se encuentra ubicado en la parte superior del edificio de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, mientras que la consola que recibe los datos se ubica en el Laboratorio de Estudios Ambientales de la misma escuela.



Figura 8. Estación de monitoreo climatológico.

La consola muestra y recopila los datos de la estación climatológica, incluyendo funciones gráficas y alarma, estos datos se transmiten a una computadora utilizando una interfaz USB, para después ser procesados con el software Weather Link o cualquier otro software de análisis estadístico.



Figura 9. Consola de recepción de datos de la estación climatológica.

El estudio se realizó en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, localizada en la depresión central de Chiapas, está compuesta por un valle y está limitada al sur y norte por dos elevaciones orográficas, en una de estas se encuentra la UNICACH y sitio de instalación del sistema DOAS, como se muestra en la figura 10, los principales puntos de estudio se determinaron debido a la afluencia de automóviles, el primero fue la zona centro tomando como referencia el edificio del Hotel Humberto a una distancia de estas instalaciones de 2.93 km y con latitud $16^{\circ}45'14.3''N$, longitud: $93^{\circ}7'3.8''O$ el segundo fue en la zona poniente tomando como referencia el edificio de la Procuraduría General de la República ubicado a 3.80 km de la UNICACH, en las coordenadas, latitud: $16^{\circ}44'36.45''N$ longitud: $93^{\circ}8'2.88''O$, y el tercero fue la zona poniente tomando como referencia el edificio del Polyforum Mesoamericano a 4.93 km de distancia, latitud $16^{\circ}44'50.32''N$, longitud $93^{\circ}4'54.82''O$.

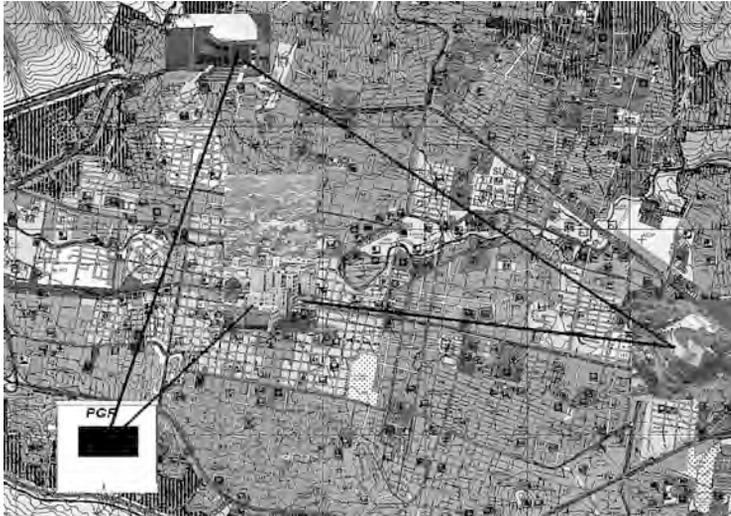


Figura 10. Área de estudio en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (carta urbana 2002)

Una vez definido los puntos de monitoreo se procedió a tomar la medición con el arreglo experimental mostrado en la figura 11, el cual está diseñado para detectar la señal emitida por la interacción de la energía (radiación solar), con la materia (contaminantes), usando como fuente de luz al sol.

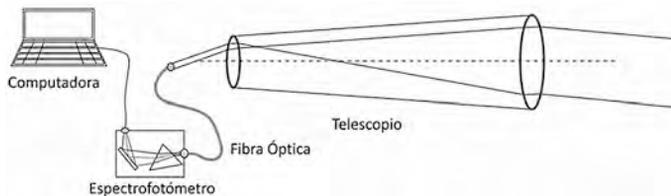


Figura 11. Arreglo experimental del sistema DOAS

El telescopio fue el instrumento utilizado para aislar la zona de estudio y permitió recolectar la luz que va desde el área de estudio a la estación de monitoreo, posteriormente esta información fue enviada a través de la fibra óptica hasta el fotómetro el cual proporcionó la in-

formación de la radiación solar, en Watts por m², de cada longitud de onda desde los 350 a 850 nm en pasos de 50 nm siendo los de mayor importancia los de 350 y 450 nm, además sirvió para calibrar el sistema, ya que al obtener mayor intensidad de señal se entiende que la fibra óptica está obteniendo la mayor cantidad de información del área de estudio por lo que se considera que esta bien alineado, una vez realizado lo anterior se conecta el espectrofotómetro, el cual proporciona información del espectro de absorción y transmisión de los contaminantes. Estas mediciones se realizaron para calcular la razón de concentración según la ley de Beer-Lambert:

$$\frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)} = e^{-kx} \quad (19)$$

Donde $I(\lambda)$ es la intensidad final obtenida enfocando a la zona de estudio, $I_0(\lambda)$, es la intensidad inicial o de referencia, tomada directamente del cielo, la e , representa el aumento exponencial de la intensidad debido a la concentración (k) y la distancia que existe entre la estación de monitoreo y la fuente de contaminación bajo análisis (x), teniendo la razón de intensidades se procedió a la localización de los diferentes contaminantes tomando como referencia sus secciones transversales, las cuales, como ya se mencionó, son características propias de cada especie a estudiar.

Resultados

Las zonas de monitoreo propuestas, poniente, oriente y centro de la ciudad, fueron elegidas debido a la posición privilegiada de la UNICACH que permite un campo de visibilidad amplio de esas zonas, la importancia de tránsito vehicular que éstas tienen y a la forma característica de la ciudad en la que puede haber una mayor formación de contaminantes en la zona centro, si se presentan ciertas condiciones atmosféricas. El estudio se realizó del 15 de febrero al 26 de marzo de 2010 en tres diferentes horarios 8 am, 12 pm y 3 pm, debido a que son horas en las que hay un mayor índice de tráfico vehicular, para el primer caso debido al inicio de

actividades escolares y laborales, para el segundo (medio día) principalmente debido a un mayor índice de tráfico vehicular en la zona centro por la actividad comercial que ahí se tiene y en el tercer horario debido al término de actividades laborales y escolares. El espectro obtenido a partir de las mediciones con el sistema DOAS, se presenta en la figura 12. Cabe señalar la obtención a la par de cada una de estas zonas, el espectro tomado directamente del cielo de manera perpendicular a la ubicación del sistema, lo anterior para tomarlo como espectro de referencia, haciendo la suposición de que en esta zona no existe una concentración de contaminantes considerable.

En la figura 12, se presenta la información obtenida del espectro de absorción medida en la trayectoria de análisis (zona centro), representada por α , expresada en unidades arbitrarias (u. a.), lo anterior en función de los días de muestreo y de la longitud de onda, expresada con λ , en nanómetros (nm), además se pueden observar los picos característicos correspondientes a los agentes contaminantes presentes en la zona de estudio, los cuales deben ser procesados y delimitados según su rango espectral para su estudio.

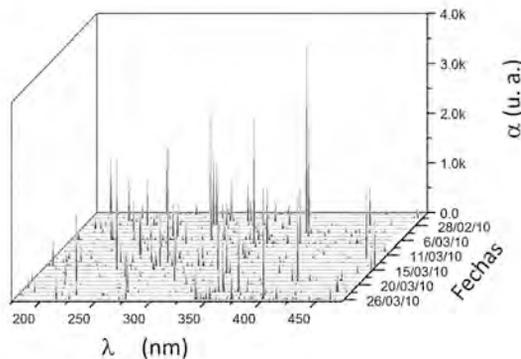


Figura 12. Espectro obtenido en en la zona centro de la ciudad a las 8 am

Una vez adquiridos estos espectros se procedió a la localización de las especies mediante su sección transversal, que está en función de la longitud de onda que es una característica propia de cualquier especie de

estudio.^[25] En la figura 13, se presenta el espectro obtenido el 13 de marzo a las 12 pm, en la zona centro, en esta gráfica se enfatizan los rangos de longitudes de onda correspondientes a los contaminantes a evaluar, para el caso de O_3 , va desde 312 a 330 nm^[26], es importante señalar que los cambios evidentes en el espectro de absorción debido a la presencia de esta especie caen principalmente en este rango de longitudes de onda, para el SO_2 , va desde 290-310 nm^[27], los picos de absorción correspondiente al Benceno van desde 250 hasta 280 nm^[28], para el HONO, abarca de los 340 a los 370 nm^[27], el NO va desde 200 a 230 nm^[28] y la región espectral de absorción del NO_2 , abarca de 380 a 500 nm^[28].

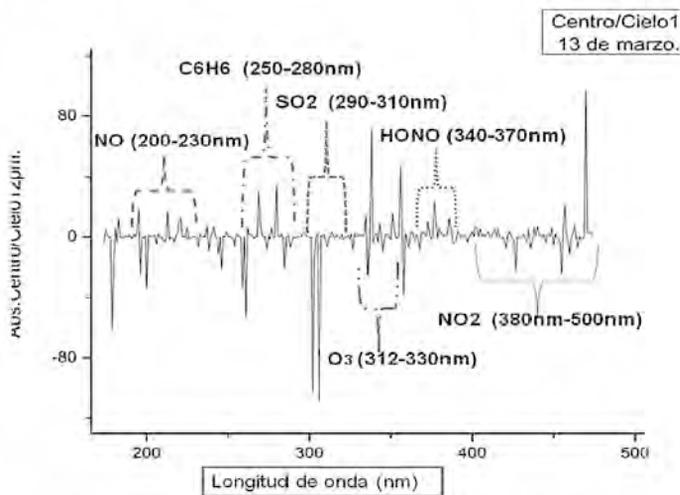


Figura 13. Delimitación espectral de los diferentes contaminantes, regiones UV-Vis.

Una vez delimitado el O_3 , en las tres zonas de estudio y en los tres horarios descritos, se promediaron estos datos para determinar de esta manera los días de mayor discrepancia, como se presenta en la figura 14, donde se puede observar el margen de error presente, el cual puede ser ocasionado por una mala alineación del sistema, por cuestiones climáticas, entre otros.

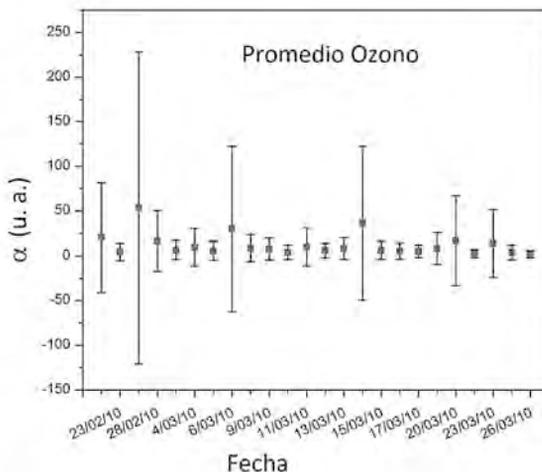


Figura 14. Promedio total por fecha para el O_3 , en la zona centro obtenido a las 8 am.

Se observa que para el 15 y 26 de febrero, y 6, 14, 20 y 23 de marzo, se tiene un margen de variación elevado, siendo el del 26 de febrero el mayor, razón por la cual se deben buscar cuales son los parámetros que generan estas condiciones. Para entender lo anterior, se evaluaron las características climatológicas del sitio en los días de muestreo. Es importante señalar que el monitoreo se realizó en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la UNICACH, por lo que se considera que la información es puntual, y se tendrá cierta incertidumbre en la correlación con los datos del sistema propuesto, ya que este monitorea un camino óptico que va de 3 km hasta 5 km, provocando que factores como velocidad del viento, humedad, temperatura, entre otros no sean iguales a aquellos presentes en la zona. Como ejemplo se debe observar que en la zona centro se encuentran edificios altos, que provocan pequeñas alteraciones en los patrones climáticos, además de que la información de los contaminantes presentes en la atmósfera son únicamente de la zona centro, particularmente en el Palacio de Gobierno, lugar en que la Secretaría de Medio Ambiente, Vivienda e Historia Natural (SEMAVIHN), tiene instalado un sistema de monitoreo, es por ello que los datos serán comparados únicamente con aquellos obtenidos con la técnica DOAS pasivo de esta misma zona. En las figuras 15,

16 y 17, se presentan gráficas con los datos de temperatura, humedad y viento, respectivamente, obtenidos con la estación climatológica.

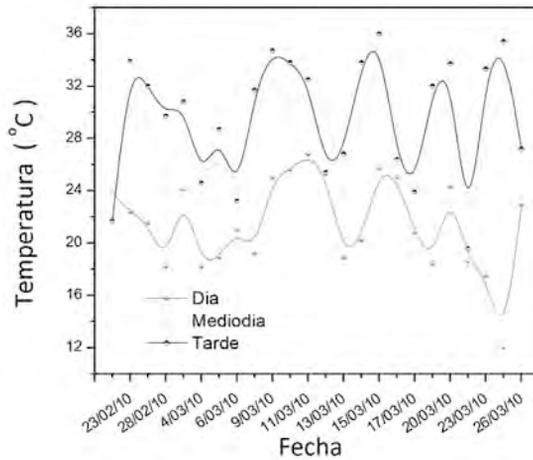


Figura 15. Gráfica del promedio de temperatura en los tres diferentes horarios de muestreo de los días de estudio.

De la gráfica 15, se observa los valores de temperatura para los tres horarios de muestreo en las diferentes fechas que se realizaron.

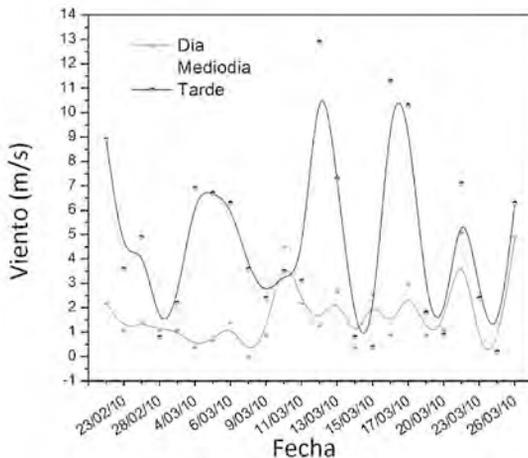
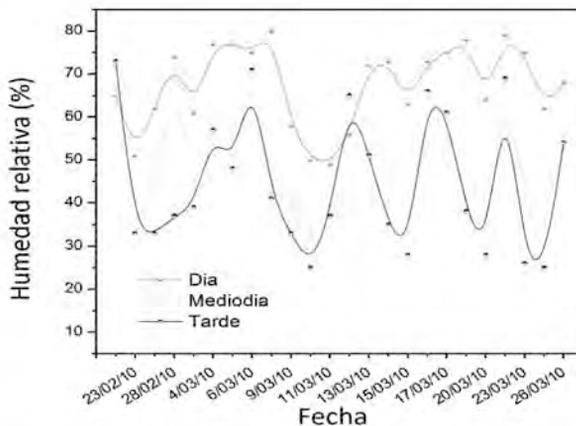


Figura 16. Gráfico de la velocidad del viento.

Para el caso de la figura 16, se observa la variabilidad de este parámetro, el cual puede presentar características de estabilidad para el sistema propuesto, para el caso de vientos de alrededor de 2 m/s, hasta valores elevados, los cuales generan movilidad de partículas suspendidas, lo que a su vez altera de manera considerable el área de análisis.



Figural7. Gráfica de la humedad relativa presente en los días de estudio.

Al evaluar la existencia de una relación directa con los datos obtenidos por el sistema DOAS, no se observó que alguno de estos parámetros por sí solo influyera de manera directa con los resultados obtenidos, sin embargo es sabido que la combinación de estos generan características climatológicas muy particulares como son la presencia de bruma, nubosidad, entre otros.

Como muestra de lo mencionado anteriormente, se analizaron los datos obtenidos el 6 de marzo, en donde se obtuvo una temperatura de 21°C, velocidad del viento de 1.8m/s y una humedad relativa de 77%, el dato particular, es que en este día estuvo nublado, lo que provocó una disminución de la visibilidad, como se muestra en la figura 18.



Figura 18. Vista panorámica de la zona centro, obtenida el 6 de marzo a las 8:30 am.

Con la información obtenida, se realizó el promedio diario de los datos para el ozono y se comparó con la información proporcionada por la SEMAVIHN, para establecer la comparación de la información. Cabe señalar que en contraste con los experimentos de laboratorio, la repetición de mediciones realizadas en la práctica, bajo condiciones ambientales, es difícil, sino imposible, ya que en particular para la técnica propuesta el medio de iluminación no es uniforme, aunado a las características propias del medio ambiente, por lo que los resultados presentados se basan en el comportamiento estadístico de las concentraciones medidas.

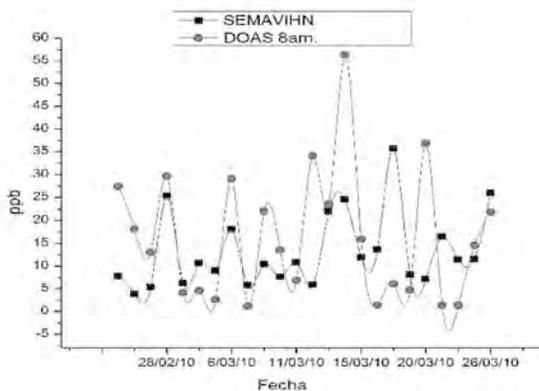


Figura 19. Serie de tiempo de la concentración de O_3 , medida con analizadores convencionales (SEMAVIHN) y el sistema DOAS, en horario matutino, zona centro.

En el caso de ozono, el desempeño del equipo DOAS con respecto al analizador que utiliza el método de referencia evaluado en el horario matutino, se observa que existe un buen acercamiento. Aunque cabe señalar que para el caso de los datos correspondientes al 11 y 22 de marzo, se observan variaciones respecto de los datos proporcionados por la SEMAVIHN, pero como se mencionó anteriormente, esto puede ser debido a que el sistema propuesto hace un barrido de la información a lo largo de una trayectoria, a diferencia del sistema de referencia que es puntual.

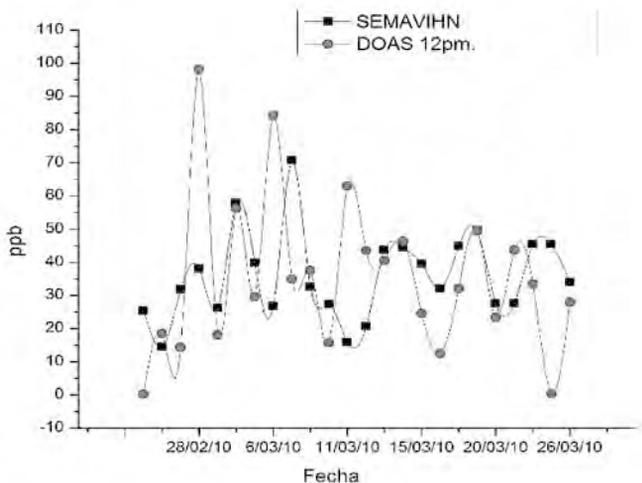


Figura 20. Muestra de O₃, monitoreado por la SEMAVIHN y la técnica DOAS al medio día, en la zona centro.

Para el horario de mediodía, figura 20, se observaron discrepancias principalmente en cuatro fechas, el 23 de febrero, 6, 11 y 22 de marzo, donde se observa además la recurrencia en dos días de marzo, que como característica similar se tiene que fueron días en los que el viento fue superior a los 6 m/s, además de que para el caso del 11 de marzo fue el día con menor humedad relativa por la mañana.

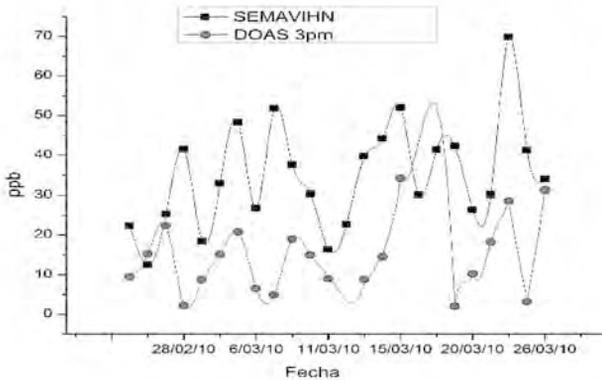


Figura 21. Gráfico representativo del O_3 , en la zona centro, 3 pm.

El último caso analizado (figura 21), fue el realizado en horario vespertino, en donde se observaron discrepancias el 28 de febrero, y 8, 19 y 26 de marzo, aquí no existe relación alguna con los datos presentados en los otros horarios, por lo que requiere del análisis de otros parámetros ambientales o del sistema propuesto para tener mayor certeza. Sin embargo la correlación de información es superior al 80%, tomando en cuenta todas las desventajas de un sistema pasivo, por lo que se considera una alternativa a considerar en el análisis de contaminantes.

Conclusiones

Conforme a los resultados obtenidos en las mediciones realizadas, se encuentra que existe una aceptable aproximación entre las mediciones realizadas con el método convencional (puntual) y el DOAS (trayectoria). Las diferencias entre las mediciones son debidas a la naturaleza misma de la medición por trayectoria (DOAS) y el puntual (convencional). Los resultados del análisis de desempeño entre ambas tecnologías indican que la medición de la calidad del aire (para el O_3) a través del sistema DOAS es confiable, el cual a su vez, puede ser utilizado para realizar una medición continua de diferentes contaminantes que incluye además hidrocarburos (Benceno, Tolueno, O, P,M, Xileno, Estireno

y Fenol), aunque lo anterior dependerá de la resolución del espectrofotómetro. El uso del DOAS (medición por trayectoria abierta) para el monitoreo de la calidad del aire tiene grandes ventajas sobre la técnica de medición *in situ*. Esto permite hacer estudios de emisiones bajo el concepto de medición por fuente de área, así como evaluaciones de la calidad del aire de manera más integral por cuenca atmosférica con límites de detección tan bajos como 1 ppb. El uso del sistema DOAS permite realizar mediciones en diferentes bandas del espectro de luz para detectar interferencias en la detección de Ozono. Además los costos asociados a la operación y mantenimiento resultan moderados.

Esta técnica fue posible de implementar debido a las características propias de la ciudad, la cual presenta temporadas largas de cielo despejado, que es cuando se puede observar el fenómeno de foto disociación de gases emitidos por los automotores, ya que en días nublados, con demasiada presencia de neblina o con probabilidades de lluvia se incrementa el error considerablemente, por lo que es necesario el desarrollo y caracterización de la configuración DOAS activa.

Referencias Bibliográficas

1. Colin Baird, 2001, *Química Ambiental*, Editorial Reverte, 2ª edición, pp. 4-607
2. Thomas G. Spiro, Willian M. Stigliani, 2004, *Química medioambiental*, Pearson Prentice Hall, pp. 219-243.
3. Creswell, C.J., Runquist, O.A. y Campbell, M.M., 1979, *Análisis espectral de compuestos orgánicos*, Ed. Diana, México
4. Carolyn R. Mercer, 2003, *Optical Metrology for Fluids, Combustion and Solids*, 1st edition, Ed. Springer, p. 460
5. Markus W. Sigrist, 1994, *Air Monitoring by Spectroscopic Techniques*, Ed. John Wiley & Sons, Vol. 127, p. 531
6. Telle, Helmut H., Ángel González Ureña, Robert J. Donovan, 2007, *Laser Chemistry: Spectroscopy, Dynamics and Applications*, Ed. Wiley, p. 502
7. M. D. Jack, et al., 1995, *Remote and on Board Instrumentation for Automotive Emissions Monitoring*, Society of Automotive Engineers Papers, #951943, pp. 796-809
8. D. H. Stedman, 1989, *Automobile Carbon Monoxide Emission*, Environmental Science Technology, 23(2), pp. 147-149

9. E. D. Hinkley, 1976, *Laser Spectroscopic Instrumentation and Techniques: Long Path Monitoring by Resonance Absorption*, Optical and Quantum Electronics, 8, pp. 155-167
10. K. Schafer, et al., 2000, *Nonintrusive Optical Measurements of Aircraft Engine Exhaust Emissions and Comparison with Standard Intrusive Techniques*, Applied Optics, 39(3), pp. 441-455
11. S. H. Chan, et al., 1973, *Analysis of Principles of Remote Sensing and Characterization of Stack Gases by Infrared Spectroscopy*, Environmental Science Technology, 7(5), pp. 424-427
12. M. J. D. Low, 1967, *Remote Sensing and Characterization of Stack Gases by Infrared Spectroscopy*, Environmental Science Technology, 1(1), pp. 73-74
13. G. Barrefors, 1997, *Erratum to Monitoring Benzene, Toluene, and P-Xylene in Urban Air with Differential Optical Absorption Spectroscopy Technique*, Science tot. Environment, 196, pp. 99-104
14. C. Flamant, et al., 1994, *Lidar and DOAS Remote Sensing for Pollution Monitoring in the Washington D. C. Area During August-September 1992*, Proceeding of SPIE, vol. 2112, pp. 261-268
15. Andrew Crookell, Richard A. Brook, 2001, *Remote Optical Measurement Techniques: Under-Performance or Over-Expectation?*, Proceeding of SPIE, Vol. 4199, pp. 149-156
16. B. A. Patterson, et al., 1998, *Detection of Benzene and other Gases with an Open-Path, Static Fourier Transform UV Spectrometer*, Applied Optics, 37(15), pp. 3172-3175
17. M. M. Baum, et al., 2000, *Multicomponent Remote Sensing of Vehicle Exhaust Emissions by Dispersive IR and UV Spectroscopy*, Proceeding of SPIE, 45th Annual Meeting, San Diego, CA

18. G. A. Bishop and D. H. Stedman, 1996, *Measuring the Emissions of Passing Cars*, Acc. Chem. Res. 29, pp. 489-495
19. Skoog, D. A., Holler, J. H., Nieman, T. A. *Principios de Análisis Instrumental*, 5a Edición, Ed. McGraw-Hill, pp. 122-407
20. Cuerpo Académico, 2009, *Estudios ambientales y riesgos naturales aportaciones al sureste de México*, colección Jaguar UNICACH 1ª edición 2009 pp. 197-273
21. Rubio Martínez Baltasar, 1994, *Introducción a la Ingeniería de la fibra óptica*, Ed. Rama, pp. 23-59
22. Daniel Malacara, 1989, *Óptica básica*, CFE SEP, 1ª Edición, pp.23- 762
23. Clair N. Sawyer. Perry L. McCarty, Gene F Parkin, 2001, *Química para ingeniería ambiental*, 4ª Edición, Ed. Mc Graw Hill,
24. Michel Grutter y Roberto Basaldud, 2006, *Técnicas ópticas de percepción remota para la caracterización de gases atmosféricos*, *Contaminación Atmosférica V*, pp. 91-117
25. Platt U., 1999, *Modern Methods of the Measurement of Atmospheric Trace Gases*, Physical Chemistry; pp.5409-5415
26. Molina L. T., Molina M. J., 1986, *Absolute Absorption Cross Sections of Ozone in the 185- to 350-nm Wavelength Range*, Journal of Geophysical Research, Vol. 91, No. D13, pp. 14501-14508
27. ChanceK. V., Burrows J. P., Perner D., Schneider W., 1997, *Satellite Measurements of Atmospheric Ozone Profiles, Including Tropospheric Ozone, from Ultra-Violet/Visible Measurements in the Nadir Geometry: A Potential Method to Retrieve Tropospheric Ozone*, Journal of Quantum Spectroscopy Radiative Transfer Vol. 57. No. 4, pp. 467-476

28. Brohede Samuel, 2002, *Differential Optical Absorption Spectroscopy*, Department of Radio and Space Science, Course Atmospheric Chemistry, University of Chalmers, Sweden

II. Manejo y disposición de los residuos sólidos no peligrosos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Pedro Vera Toledo, Alejandro Mendoza Castañeda,
Juan José Villalobos Maldonado

Introducción

La degradación de la calidad del medio es algo innegable, tan sólo por el manejo inadecuado de los residuos sólidos catalogados como residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos de manejo especial (RME), considerados en México como residuos que no poseen características de peligrosidad^[10], se generan los siguientes problemas: bloqueo de corrientes de agua, deterioro de lugares de recreación, contaminación de acuíferos, contaminación de cuerpos de agua superficiales, salinización de suelos, proliferación de fauna nociva y generación de malos olores, emisiones contaminantes del aire, éstas últimas como consecuencia del desprendimiento de sustancias volátiles contenidas en los residuos; generación de gases como producto de la fermentación de los residuos orgánicos, o como consecuencia del arrastre por el viento de los residuos de distinta índole^[5].

A lo anterior, se suma la contaminación ocasionada cuando se incendian los sitios de disposición final llamados “basureros” emitiendo partículas y todo tipo de sustancias tóxicas liberadas en los procesos de combustión de distintos tipos de materiales, que incluyen a las dioxinas, compuestos clorados de gran toxicidad que han mostrado ser

capaces de causar una variedad de efectos negativos en animales expuestos, tales como pérdida de peso y problemas en el hígado (daño hepático) o alteraciones en la función reproductiva de una cantidad creciente de especies animales de la vida salvaje^[1 17]. En otros casos, se muestran alteraciones en la respuesta inmune (lo que los hace vulnerables a bacterias y virus) o bien, puede ocasionar acción nociva en el sistema reproductivo y en las crías. Las dioxinas ingresan al ambiente como subproductos no intencionales de procesos de combustión, entre los que sobresale la quema de basura por combustión de productos que contienen cloro, los bifenilos policlorados o el polivinilcloruro^[6], en este último los llamados termo-plásticos, sustancias sintéticas, de uso común en recubrimientos para cables eléctricos, tubería hidráulica-sanitaria, telefónica e industriales, cajas de distribución, perfiles para instalaciones, enchufes, clavijas, gabinetes y teclados para computadora.

Los subproductos de los RSU y RME una vez dispuestos, más agresivos para el ambiente son los lixiviados y el biogás. El biogás, producto de la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos, es una mezcla de gases en cuya composición se reconocen un gran número de gases trazas, como: Monóxido de carbono, Nitrógeno, Oxígeno, compuestos orgánicos, Sulfuro de hidrógeno, Amoniac y saturado de agua, además de: dióxido de carbono CO_2 y metano CH_4 , se acepta que aproximadamente estos últimos son prácticamente el 100% del total^[14 26] además de ser de los principales gases de efecto invernadero que afectan las selvas neotropicales^[11].

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), el gas utilizado como unidad en potencial de calentamiento es el CO_2 , en esta escala el CH_4 posee un potencial de calentamiento 21 veces^[3], algunos autores reportan que por cada tonelada de basura se producen 200 hasta 370 m^3 de biogás^[2], si no es controlado por métodos apropiados, el biogás da origen a graves problemas de contaminación del aire, principalmente por emisiones de gas metano y su efecto de invernadero aunado al impacto a la salud humana, por las partículas aerotrasportables menores de 10 micras (gases, vapores, de sustancias potencialmente tóxicas; esporas, mohos, hongo, bacterias, virus potencialmente dañinos) y la incomodidad de los malos olores^[18].

Los lixiviados son un líquido que se forma por la reacción de arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que se infiltran en los suelos y escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos que contaminan el suelo y los cuerpos de agua, lo que representa un riesgo potencial a la salud humana y los demás organismos vivos ^[7 8].

En suma, de no contar con una sistema de manejo integral de residuos sólidos urbanos cualquier ciudad, está expuesta a todos los problemas señalados, sin embargo en el caso específico de Tuxtla Gutiérrez, se cuenta con un sistema que se encuentra integrado por las siguientes etapas: barrido, recolección domiciliaria y comercial, transporte, transferencia, traslado, disposición final, mantenimiento de posclausura del sitio de disposición final y la adquisición de terrenos en donde se construyó el relleno sanitario, y que de manera general cumple con su cometido y se ha trabajado para controlar, disminuir, mitigar y en algunos casos prevenir esta problemática.

Antecedentes

El crecimiento de la población de la capital chiapaneca ha sido exponencial y en igual proporción sus problemas, de forma tal que la generación de residuos ha tenido importantes sucesos.

Con una población cercana a 550 mil habitantes la ciudad de Tuxtla Gutiérrez^[4] requiere en promedio la recolección de parte del Servicio Integral de Manejo y Disposición de Residuos Sólidos Urbanos de 450 toneladas de residuos diarias, así también, los servicios particulares y privados generan una cantidad adicional no determinada hasta el momento de los mismos. Este volumen de residuos satura progresivamente al sitio de disposición final.

Por otra parte la separación de residuos sólidos en el municipio no está generalizada ni es obligatoria, lo que provoca que una gran parte de los materiales potencialmente reciclables se dispongan sin aprovecharse; de acuerdo con la Dirección de Limpia y Aseo Público (DLAP), los residuos potencialmente aprovechables representan el 40% del total generado en la ciudad. Según esta fuente únicamente son aprovechados, por

parte del ayuntamiento, entre el 1 y 2 % de lo que se genera diariamente por lo que el impulso al aprovechamiento de los materiales reciclables, representa una oportunidad económica y ecológica muy prometedora.

Hasta mediados del año 2006 el municipio de Tuxtla Gutiérrez había prestado el servicio de recolección de residuos sólidos en la ciudad, cambiando antes en algunos aspectos operativos menores, sin haber registrado en sí una modernización concreta en lo que a la calidad del servicio se refiere, que toca tangencialmente las etapas de transferencia y transporte de los residuos, amén que históricamente no se contemplaba la segregación, valoración, minimización y/o reciclaje de los productos susceptibles de ser aprovechados.

En la disposición final se planteaba un reto mayúsculo, puesto que en 2005 el ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, se enfrentó a la contingencia causada por el excesivo crecimiento de aves de rapiña que ponían en riesgo las operaciones del aeropuerto Francisco Sarabia^[29], a escasos 8 kilómetros del sitio, así como por los considerables riesgos sanitarios que representaba el sitio de disposición final de residuos sólidos, entre los que destacaban: generación totalmente incontrolada de lixiviados y emanaciones de biogás, existencia de fauna nociva, pepenadores, animales callejeros, entre otras causas, y por supuesto la falta de un plan concreto de operación del sitio.

Lo anterior dio origen a implementar un plan emergente de saneamiento y clausura del sitio y a iniciar el proceso para la licitación pública nacional de la Prestación del Servicio para la Operación del Sistema Integral de Manejo y Disposición de Residuos Sólidos Urbanos y Residuos de Manejo Especial ese mismo año, siendo ganadora de esta licitación la empresa Proactiva Medio Ambiente Tuxtla S.A. de C.V., contemplando para lo anterior las siguientes etapas del servicio: barrido mecánico, recolección, transporte, transferencia, traslado, disposición final y mantenimiento post clausura, quedando únicamente a cargo del ayuntamiento de los siguientes servicios: barrido manual, recolección y trituración de producto verde, recolección de animales muertos, recolección de pilas usadas y descacharramiento^[21].

Etapas del manejo de los residuos sólidos

Típicamente el manejo de los residuos sólidos comprende las operaciones: generación, separación-segregación en la fuente, almacenamiento, transporte, traslado, barrido, transferencia, tratamiento y disposición final; el sistema de manejo y disposición de residuos sólidos urbanos y de manejo especial del municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas contempla: barrido, recolección domiciliaria y comercial, transporte, transferencia, traslado, disposición final, mantenimiento de posclausura del basurero actual y adquisición de terrenos, a continuación se describen cada una de las etapas.

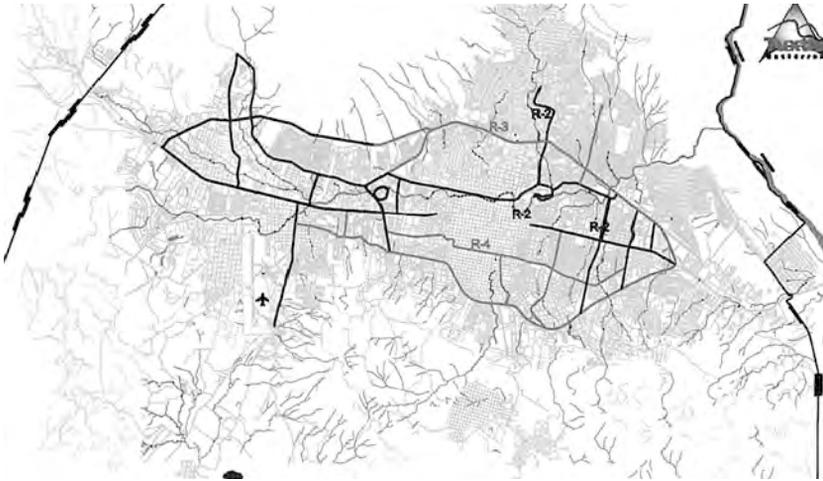


Figura 1. Rutas de barrido mecánico, en la ciudad.

Barrido: en la ciudad se practican dos tipos de barrido, el barrido manual, en el primer cuadro de la ciudad que abarca de la 13ª Oriente a la 13ª Poniente y de 9ª Sur a 9ª Norte, se barren diariamente 3 veces las principales calles, avenidas y parques, para años recientes se incluyen los miradores Los Amorosos y Copoya los dominigos. El barrido mecánico, se realiza con equipos barredoras mecánicas nuevas, sobre las principales calles y avenidas de la ciudad, ésta modalidad básicamente se realiza en el horario nocturno de lunes a sábado, las rutas se ilustran en la figura 1.

Recolección: para el año 2005 se contaba con una flota vehicular de 35 camiones de recolección, con una capacidad promedio de 5 toneladas por unidad (175 en conjunto) y 551 trabajadores operativos en distintas áreas, se proporciona la atención de recolección de residuos con una cobertura cercana al 100% de la población atendida, a partir del 2006 se cuentan con 38 unidades especializados en recolección con sistemas de compactación, 4 camionetas de supervisión, que de acuerdo con el convenio con la empresa Proactiva, son nuevos y no deben estar en operación por más de 7 años, para garantizar la calidad de la prestación del servicio y una cobertura permanente del 100 % de la ciudad.

Transporte: se conoce como transporte a la etapa del proceso del manejo de los residuos donde unidades de mayor capacidad realizan el recorrido desde un punto que generalmente es una estación de transferencia, hasta el sitio de disposición final y cuyo objetivo es el de minimizar costos bajo la premisa que es más económico realizar un viaje grande a muchos de menor capacidad, aunado a que los tiempos y movimientos en la recolección se eficientizan. Los 7 tractocamiones son las unidades destinadas para el trasiego de los residuos sólidos urbanos realizan en promedio 370 viajes mensuales, equivalentes a 4 mil 440 viajes al año, logrando con esto la transferencia de 88 mil 800 toneladas de residuos, aunado a esto se realizan en promedio 4 viajes diarios de tolvas particulares con capacidad de 7.5 toneladas en un periodo de 5 meses, lo que equivale a un total de 565 viajes durante el periodo transfiriendo un total de 4 mil 237.5 toneladas al sitio de disposición final^[22].

Para el caso de los vehículos particulares que llegan a depositar sus residuos tanto en la zona de transferencia como en el sitio de disposición final suman los 10 mil 700 viajes al año equivalentes a 7 mil 600 toneladas.

Estación de transferencia: se define como la o las instalaciones que, con el equipamiento necesario, permite el cambio del medio de transporte de los residuos sólidos no peligrosos, de las unidades de recolección a vehículos de mayor capacidad para su transporte al sitio de disposición final; en la ciudad capital se cuenta con una instalación de esta naturaleza.

Disposición final

La disposición final constituye la última etapa del ciclo de vida de los RSU. La aplicación de todas las medidas de reuso y reciclaje permiten depositar los restos económicamente no reaprovechables. La cuestión entonces no es de evitar el elemento de disposición en el ciclo de manejo de RSU, sino reducir su cantidad y el impacto al ambiente.

a) Tiradero a cielo abierto

Durante décadas, esta actividad no fue vista como un problema serio para los encargados del Servicio de Limpia, ya que bastaba con llevar los RSU fuera de los núcleos urbanos para evitar el impacto visual y las molestias que pudieran causar a la población. Además, la cantidad en que eran producidos y las características de composición permitían su reintegración a la naturaleza sin daños aparentes¹³. Ante esto y con la persistencia de las prácticas tradicionales en la disposición final de los RSU, aparecen grandes tiraderos a cielo abierto, los cuales presentan un foco de contaminación ambiental (en agua, aire y suelo) aunado al riesgo para la salud pública de la población circundante. Los tiraderos a cielo abierto pueden ser grandes y estar tolerados por la autoridad, pero también existen aquellos pequeños en barracas y ríos o en las esquinas de las ciudades.

En el caso de Tuxtla Gutiérrez, el basurero funcionó en 15 hectáreas del predio San Francisco Tucutzano a partir de principios de 1995 y fue hasta abril de 2008 que dejó de funcionar^[12].

b) Relleno sanitario

El 19 de diciembre de 2004 entró en vigor la NOM-083-SEMAR-NAT-2003, para que los municipios regulen sus sitios de disposición final de RSU. Un relleno sanitario es una obra de infraestructura que aplica métodos de ingeniería para la disposición final de los RSU sobre el suelo, esparciéndolos y compactándolos al menor volumen posible, para cubrirlos con material natural y/o sintético. Además debe consi-

derar los mecanismos para el control de impactos ambientales y debe estar de acuerdo con los requisitos normativos vigentes.

La construcción de un relleno sanitario generalmente es más cara que un tiradero a cielo abierto, pero si se consideran los costos causados por los impactos ambientales, los daños a la salud, y la restauración de estos sitios contaminados por la inadecuada disposición final, estos resultan ser mucho más caros que la medida preventiva de un relleno sanitario. Con el objetivo de reducir costos, se puede estudiar la estrategia de emplazar rellenos sanitarios de tipo regional y en este contexto, es menos relevante el costo total que el costo específico.

En el caso de la ciudad, el proyecto del sistema integral de limpia, consideró la construcción del relleno sanitario en varias etapas dentro del mismo predio, ya que éste abarca 180 hectáreas, de las que sólo se habían utilizado menos de 15 en la remediación y clausura del tiradero anterior. Estas etapas contemplan la construcción de 7 celdas a lo largo del convenio, más la construcción de una celda de emergencia. La primera de 7 celdas, entro en funcionamiento en mayo del 2008 y tiene una capacidad de 770 mil m³ de residuos, actualmente y ante la saturación de la misma, se encuentra en construcción la segunda celda.

El relleno sanitario en su conjunto tiene una capacidad proyectada para disponer de aproximadamente 4 millones de m³ de residuos sólidos, que de acuerdo con los cálculos, abarcaría los 20 años que tiene de vigencia el contrato de prestaciones con la empresa.

Mantenimiento de posclausura del basurero

A partir de abril del 2008 la empresa PROACTIVA se hace cargo del mantenimiento y conservación del basurero clausurado, con acciones de recirculación de lixiviados, mantenimiento de la cubierta, construcción de bermas y atención a los asentamientos de la cubierta final, así también con la inducción de arbolado nativo en cumplimiento a las autorizaciones ambientales. Todo esto durante los 20 años que dura la concesión.

Otro aspecto importante de la concesión son los costos, estos se publicaron en “La Ley de ingresos 2010” para el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Periódico Oficial No. 208-2a tomo III, del 31 de diciembre

del 2009; con 3.7 salarios mínimos por disposición en la zona de transferencia y 3.1 salarios mínimos por disposición en el relleno sanitario.

Generación de residuos sólidos en Tuxtla Gutiérrez

Actualmente, la SEMARNAT lleva a cabo estudios cuyo objetivo es el establecimiento de metodologías que permitan la validación y una transparencia para definir indicadores de generación de residuos en México. Para los RSU, y según datos reportados por la misma secretaria en 2004 la generación de este tipo de residuos en todo el país fue de 94 mil 800 toneladas ^[25].

En la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en lo relacionado con la generación y composición de los RSU, al 2001 se tenía una generación per cápita de 0.974 kg/hab.-día ^[9], basados en esos datos se realizó la siguiente proyección de generación de residuos estimada, se presenta en la tabla 1 que hace el cálculo en referencia a la población en un lapso de 22 años, a partir del 2005:

Tabla 1. Estimación de la generación de residuos sólidos

Año	Población Estimada*	Generación Per cápita RSU kg/hab-día	Generación Diaria de RSU ton-día	Generación Anual de RSU ton - año
2005**	503,750	0.974	490.65	179,088.16
2006	515,412	0.98374	507.03	185,066.46
2007	523,831	0.99358	520.47	189,970.32
2008	531,972	1.00351	533.84	194,851.93
2009	539,849	1.01355	547.16	199,714.51
2010	547,464	1.02368	560.43	204,556.96
2011	554,824	1.03392	573.64	209,380.05
2012	561,936	1.04426	586.81	214,184.63
2013	568,802	1.05470	599.92	218,969.65
2014	575,423	1.06525	612.97	223,733.70
2015	581,805	1.07590	625.97	228,477.27

Año	Población Estimada*	Generación Per cápita RSU kg/hab-día	Generación Diaria de RSU ton-día	Generación Anual de RSU ton - año
2016	587,955	1.08666	638.91	233,201.33
2017	593,862	1.09753	651.78	237,899.67
2018	599,520	1.10850	664.57	242,567.92
2019	604,924	1.11959	677.27	247,201.94
2020	610,073	1.13078	689.86	251,799.13
2021	614,963	1.14209	702.34	256,355.59
2022	619,581	1.15351	714.69	260,863.47
2023	623,911	1.16505	726.89	265,313.40
2024	627,942	1.17670	738.90	269,697.83
2025	631,668	1.18847	750.72	274,011.11
2026	635,088	1.20035	762.33	278,249.62
2027	638,195	1.21235	773.72	282,406.99

*Conapo “Proyecciones de la Población en México 2005-2050” por municipio así como los informes de la Dirección de Limpia.

**La Generación per cápita se tomó de Manejo de los residuos sólidos domiciliarios, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Escamirosa et al., 2001)

Composición

Como se observa en la tabla 1, y de acuerdo a lo obtenido en la tabla 2, la composición de los residuos y el volumen de residuos reciclables corresponden aproximadamente a la mitad de la totalidad de los residuos sólidos urbanos.

Tabla 2. Comparación: Residuos sólidos orgánicos vs residuos sólidos inorgánicos

Tipo de Residuo	% en peso	% en volumen
Residuos sólidos inorgánicos	39.40	65.06
Residuos sólidos orgánicos	60.60	34.94

(Ajustado de acuerdo a Tchobanoglous, 1994 y Escamirosa, 2001)

La composición de los residuos inorgánicos que se presumen en su mayoría potencialmente reciclables, aunque a partir de un análisis más detallado representan un porcentaje menor en peso que los residuos orgánicos, si representa en volumen una cantidad superior, lo que puede representar una significativa reducción de los residuos que finalmente van a depositarse en el sitio de disposición final, extendiendo la vida útil de éste y en consecuencia, una reducción en los costos erogados por el ayuntamiento en el pago del servicio concesionado. De ahí la importancia de promover la separación y posible venta de componentes de los residuos, en la tabla 3, se presentan la composición porcentual de subproductos de los residuos sólidos domiciliarios por estrato social en la ciudad capital de Chiapas.

Tabla 3. Composición porcentual de subproductos por estrato social

Subproductos	% Relativo por estrato económico		
	Alto	Medio	Bajo
Algodón	0.14	0.00	0.06
Aluminio	0.31	0.32	0.26
Cartón y papel	10.34	8.83	11.91
Material ferroso	1.82	3.20	3.46
Materia orgánica	63.68	46.33	60.03
Cuero	1.89	0.42	0.82
Hule	0.79	1.19	1.37
Material de construcción	1.57	0.00	2.79
Pañal desechable	3.00	4.56	3.40
Plástico de película	4.38	3.88	5.51
Plástico flexible	0.71	0.26	1.33
Plástico rígido	2.44	2.57	2.72
Poliestireno expandido	0.11	0.06	0.10
Tetrapak	0.69	0.71	0.73
Textil	1.33	1.13	1.49

Subproductos	% Relativo por estrato económico		
	Alto	Medio	Bajo
Toallas Femeninas	0.11	0.15	0.33
Vidrio	3.56	4.15	2.35
Otros	3.11	22.24	1.35
Total (%)	100	100	100

FUENTE: Consejo Estatal de Población, 1998, Situación Demográfica del Estado de Chiapas, 1998. Escamirosa *et al.*, 2001. Manejo de los Residuos Sólidos Domiciliarios en la Cd. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Reducción y separación en la fuente de los residuos sólidos en la cabecera municipal

El Ayuntamiento consiente de la necesidad de inculcar en la ciudadanía una nueva cultura en el manejo de sus residuos sólidos y en aras de innovar nuevos métodos de recolección, diseño y puso en marcha el programa “Separa y Directo al Camión”, en colonias y fraccionamientos previamente seleccionados de la ciudad, con la firme convicción de proponer alternativas de mejoramiento de imagen y sobre todo fomentar entre los habitantes de la ciudad el hábito de separar sus residuos de acuerdo a la clasificación de orgánica e inorgánica.

Residuos orgánicos

Son todos aquellos residuos susceptibles de descomposición, sin alterar el medio ambiente, como son: cáscaras de frutas y verduras, papel, cartón, restos de comida, entre otros.

Residuos inorgánicos

Son aquellos que no se degradan tan fácilmente y que requieren de mucho tiempo para su incorporación al medio ambiente, tales como botellas de vidrio, botellas de plásticos (PET), material ferroso, plásticos (nylon) entre otros. El programa “Separa y Directo al Camión”, tiene como finalidad:

- Separar los residuos (basura) en orgánico (bolsas blancas) e inorgánico (bolsas negras).
- Establecer horarios de recolección, esperando el toque de la campana.
- Depositar la basura directamente al camión recolector, evitando el depósito de basura en calles y cruces, eliminando de esta manera los centros de acopio en las esquinas.
- Mejorar la imagen de las colonias, así como la contaminación ambiental.

Este programa inició en octubre de 2008, abarcando hasta el momento un total de 24 colonias y fraccionamientos (Campanario, La Herradura, La Gloria, Terán, San José Terán, Plan de Ayala ampliación Sur, entre otras). Actualmente se atiende el primer cuadro de la ciudad (lado norte oriente y poniente).

Dentro del mismo, se encuentra también la recolección de residuos sólidos a través del “Sistema de levante hidráulico”, este consiste en depositar los RSU en contenedores instalados sobre el Boulevard Belisario Domínguez, con la finalidad de que estos residuos no sean depositados en la vía pública, evitando contaminación y mala imagen para la ciudad, en tan importante zona comercial. Los residuos pueden ser depositados de manera diaria en el horario de 20:00 a 22:00 hrs, en los contenedores correspondientes, mismos que son recolectados posteriormente por personal de la empresa Proactiva Tuxtla S. A. de C.V.



Figura 2. Propaganda de la campaña de separación de residuos orgánicos e inorgánicos. Fuente: Dirección de limpia y aseo público (2009)

Recolección

Una justificación más importante del capítulo, lo relevante que resulta desde la perspectiva de los servicios, las implicaciones derivadas de la nueva clasificación de los residuos por la entrada en vigor de la “Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos” (LGPGIR) en sólidos urbanos, de manejo especial y peligroso.

Desde hace muchos años, las autoridades desarrollan acciones tendientes a controlar los residuos, pero en muchos casos no han sido las más adecuadas y el problema ambiental y posiblemente de salud persiste en varios lugares con una tendencia a su agravamiento. En general, las soluciones que se han implementado, van en busca del control de los residuos al final de su ciclo y esto ha propiciado resultados inadecuados para la sociedad y las mismas autoridades. Los esfuerzos serios y metódicos con la utilización de herramientas profesionales para atacar este problema, iniciaron a finales de los sesentas y principios de los setentas, alcanzando niveles de cobertura del servicio de recolección formal en un 80%^[10].

Para el año 2005 se contaba con una flota vehicular de 35 camiones de recolección con una capacidad promedio de 5 toneladas por unidad (175 en conjunto) y 551 trabajadores operativos en distintas áreas, se proporciona la atención de recolección de residuos de acuerdo a la tabla 4 donde se presenta el catálogo de atención proporcionado por el servicio de limpia.

Tabla 4. Catálogo de atención de servicio de limpia, año 2005

Categoría	Número
Barrios	29
Colonias	223
Fraccionamientos	159
Aeropuertos	1
Centros de convenciones	1
Estadios	2
Ferías	1

Categoría	Número
Hospitales	2
Instituciones	12
Mercados	16
Oficinas de gobierno	6
Panteones	4
Parques	19
Plazas	2
Quintas	4
Otros	1
Total	482

Para el servicio de recolección de RSU y RME en la ciudad se puede clasificar en 5 demandas de recolección que aportan la mayor cantidad de residuos:

1) Recolección comercial: se atienden a 160 comercios con servicio de lunes a sábado.

2) Mercados y panteones: este servicio se proporciona a 16 mercados municipales y 4 panteones, dándoles el servicio integral. Lo que representa laborar los siete días de la semana, especialmente por ser zonas de gran acumulación de personas y por consiguiente centros de fuentes de alta generación, donde se producen importantes cantidades de residuos.

3) Barrido manual: en la ciudad se cuenta con el servicio de barrido, que simultáneamente recolecta los residuos que se barren, esta operación se realiza hasta tres veces por día a las principales calles, avenidas y parques.

4) Sección de atención a instituciones y lotes baldíos: en este rubro entra la recolección de los residuos sólidos de las escuelas públicas e instituciones gubernamentales, además de dar servicio de limpia a predios propiedad del Ayuntamiento, así como de propiedades privadas que ocasionan problemas a la ciudadanía.

5) Recolección Regular: el servicio prestado regularmente por el ayuntamiento en los días y rutas preestablecidas a barrios, colonias y fraccionamientos.

Sistemas de recolección

En ese marco se tienen los siguientes 5 sistemas de recolección que son variaciones de los tradicionales métodos de recolección que regularmente se implementan para el servicio:

1. Recolección puerta en puerta: una variación del conocido método de acera, se hace de forma que los habitantes de ciertas colonias asignadas previamente, disponen los residuos inmediatamente afuera de sus hogares generalmente en bolsas de plástico, a la hora que la unidad realiza el recorrido de su ruta. En este método que incluye la recolección de residuos casa por casa y de compactadores, las unidades recolectoras recorren una calle de una cuadra completa, a una velocidad aproximada de 10 km/hr mientras que los recolectores introducen la basura dentro de la unidad.

2. Recolección en esquinas: este es el método de esquina o también conocido como de parada fija, se realiza en centros de acopio, utilizando compactadores, cañeros y semicompactadores, también se hace en colonias previamente asignadas, los habitantes disponen los residuos sólidos en las esquinas de las cuadras y las calles, para que así los recolectores lleguen e introduzcan los residuos sólidos dentro de las unidades. Dependiendo el horario previamente asignado al centro poblacional, después de las 8:00 pm los usuarios colocan los residuos en las esquinas sin toque de campana, mientras que en horario diurno los colocan al toque de la campana).

3. Recolección domiciliaria: mezcla de varios métodos, se toman elementos de método de “llevar y traer” o intradomiciliario, de contenedores y de esquina, La tercer manera (recolección domiciliaria, realizada con camiones levanta caja contenedora) en fraccionamientos residenciales (costo de 60 pesos/mes) de recolección se lleva a cabo a colonias que tienen contenedores en sitios específicos, los habitantes sacan la basura a la puerta de su casa, la cual es posteriormente recolectada generalmente a través de carritos manuales y depositada en contenedores

para posteriormente los camiones levanta cajas contenedoras, introduzcan los residuos en sus camiones.

4. Recolección al toque: la cuarta manera (recolección al toque de campana directo al camión) se realiza en el centro de la ciudad únicamente y consiste en que el camión se estaciona, un operario o recolector hace sonar la campana y los habitantes sacan la basura depositándola directamente al camión.

5. Método de recolección de contenedores: método similar a la recolección domiciliaria, pero se lleva a cabo en partes de difícil acceso, con contenedores y camiones levanta cajas contenedoras o del tipo Roll-on, adicionalmente se cobra el servicio.

En el caso de la disposición de los residuos sólidos estos se envían al sitio destinado y se tienen implementadas dos formas de operar el sistema de traslado de residuos que se usa de acuerdo a los tiempos y necesidades del sistema de recolección:

Los vehículos recolectores llenos se dirigen a la zona de transferencia a descargar en tolvas que posteriormente se dirigen al sitio de disposición final, cabe señalar que las tolvas tienen una capacidad de 72 m³ o 20 toneladas (277 kgs/m³).

Los vehículos recolectores llenos que por su ubicación o ruta se facilite se dirigen directamente al sitio de disposición final.

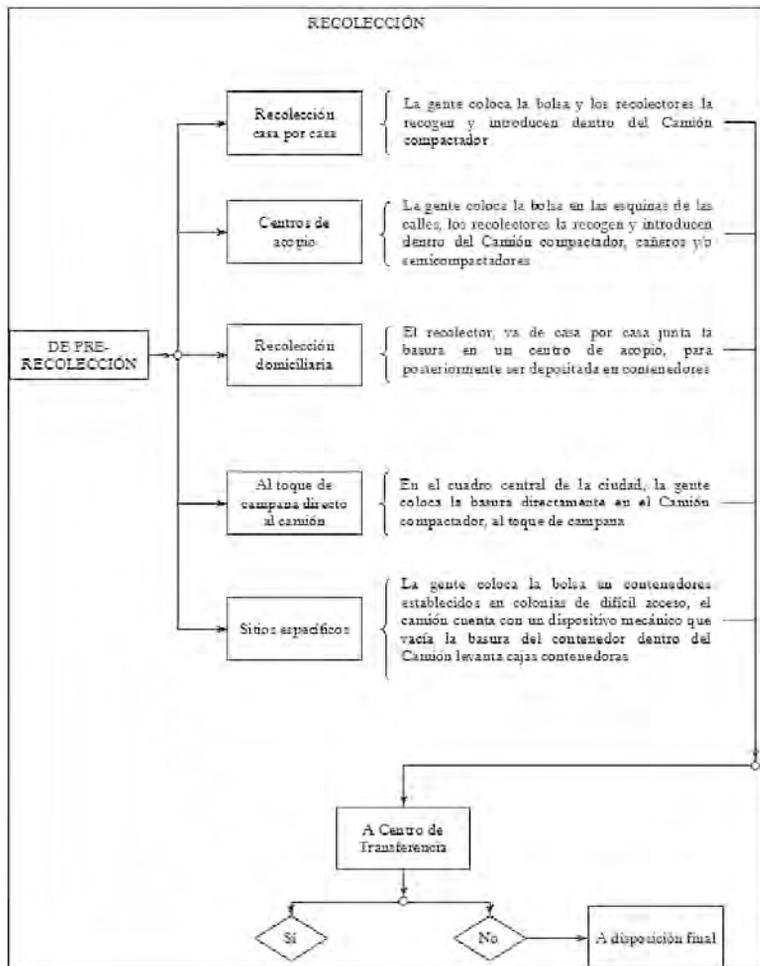


Figura 3. Diagrama del sistema de recolección.

Actualmente los vehículos oficiales del H. Ayuntamiento suman 50 mil viajes anuales con un total de 157 mil toneladas al año, equivalentes a 915 mil 110 m³ de residuos [21].

En este marco, la frecuencia de viajes en estas alternativas se ha registrado de la siguiente manera para los años 2004 y 2005, se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Frecuencia de viajes hacia el destino final y hacia la zona de transferencia por parte de los vehículos recolectores, en años 2004-2005.

Destino de los vehículos	% de los viajes realizados	
	2004	2005
Sitio de disposición final	16%	24 %
Zona de transferencia	84%	76%

Representando, en el caso de los volúmenes generados, los siguientes porcentajes:

Tabla 6. Proporción del volumen desplazado hacia los sitios de transferencia y disposición final

Destino de los vehículos	% del volumen desplazado	
	2004	2005
Sitio de disposición final	29 %	41 %
Zona de transferencia	71 %	59 %

En la zona de transferencia, las unidades destinadas para el trasiego de los residuos sólidos urbanos realizan en promedio 370 viajes mensuales, equivalentes a 4 mil 440 viajes al año, logrando con esto la transferencia de 88 mil 800 toneladas de residuos.

También se realizan en promedio 4 viajes diarios de tolvas particulares con capacidad e 7.5 toneladas en un período de 5 meses debido a que las tolvas del ayuntamiento sufrieron diversas reparaciones. Esto equivale a un total de 565 viajes durante el período transfiriendo un total de 4 mil 237.5 toneladas al sitio de disposición final.

Para el caso de los vehículos particulares que llegan a depositar sus residuos tanto en la zona de transferencia como en el sitio de disposición final suman los 10 mil 700 viajes al año equivalentes a 7 mil 600 toneladas que se distribuyeron de la siguiente manera:

Tabla 7. Promedio diario de viajes y toneladas depositadas por vehículos particulares

	Promedio/Día
Número de viajes	30
Toneladas depositadas por particulares	21

Tabla 8. Distribución de la disposición por vehículos particulares

Destino de los vehículos particulares	Viajes	Volumen
Sitio de disposición final	83 %	91 %
Zona de transferencia	17 %	9 %

Rutas de recolección

Para proveer de los servicios de limpia y aseo público, a los 482 usuarios (Entre los que sobresalen por su número; colonias, fraccionamientos y barrios) con una cobertura cercana al 100% de la recolección de los residuos sólidos urbanos y de manejo, especial generados en la ciudad se requiere de 100 rutas, que para mayor facilidad en la administración se dividió la mancha urbana por zonas, que a su vez contienen diferente número de rutas, con distintas frecuencias, horarios, personal y maquinaria. La zona sur se divide en cuatro sub zonas, mientras que la zona norte en tres, existen rutas que por la naturaleza del servicio pueden ubicarse geográficamente en cualquier zona de la ciudad y que pertenecen a una ruta diferente de las establecidas, el concentrado de rutas, horarios y frecuencias se presenta en la tabla 9.

Tabla 9. Rutas, frecuencias y horarios de atención de las diferentes rutas de la ciudad

Ruta	Frecuencia	Horario de atención	Rutas atendidas
Primer cuadro	Diario	Nocturno	39,40,41,42,45,46,51,54,55,56,57, 58,61, 63, 64,65,
Bulevares	Diario	Nocturno	51, 52 60, 67
Centro Norte	Lunes-Miércoles-Viernes	Nocturno	39,40,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52 y 53
Norte extremo	Lunes-Miércoles-Viernes	Diurno	20,21,22,23,24,25,26,27,38,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38
Norte extremo	Lunes-Miércoles-Viernes	Nocturno	54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68 y 69
Centro Sur	Martes-Jueves-Sábado	Nocturno	54, 55, 56,57, 58,61, 63, 64,65
Sur Extremo	Martes-Jueves-Sábado	Diurno	De la 1 a la 19
Comercial Contenedor	Miércoles, Jueves	Diurno	86-89, 90-92
Comercial	Miércoles	Diurno	93-96
Comercial	Jueves	Diurno	97-100
Mercados	Diario	Diurno	83,85
Otros**	Variable	Variable	70-78, con contenedores 79-82

Estación de transferencia (ET), transporte y traslado

La estación de transferencia con que cuenta el sistema de manejo de residuos es la conocida como tipo de descarga directa con dos tolvas de compactación con capacidad de descarga simultanea de cuatro camiones, caseta de vigilancia, báscula, oficinas, taller de reparaciones, cuarto de control de máquina de compactación, así como 7 tractocamiones con cajas tranfer, los cuales son utilizados para recepcionar los residuos de las unidades recolectoras para posteriormente sean trasladados al relleno sanitario, esta opera desde el 2006.

Tratamiento y recuperación

El sistema de manejo de la ciudad contempla básicamente el tratamiento de trituración para dos tipos de residuos las llantas y los residuos de podas, se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Tratamiento por residuo y objetivo perseguido

Residuo	Tratamiento	Objetivo
Llantas	Trituración	Disminución del volumen al convertir las llantas en pedazos pequeños
Residuos de poda y producto verde de mantenimiento de jardinería, troncos de hasta 12 cm de diámetro.	Trituración	Composteo

Adicionalmente se cuenta con dos bandas de separación de residuos. La primera opera desde junio del 2008, con una capacidad de recepción de 80 toneladas de basura en una jornada de 8 horas diarias de trabajo, con 28 trabajadores en línea. La segunda banda quedo instalada en el mes de noviembre del 2010 y está planeada para operar en el segundo trimestre del 2011 duplicando con esto la capacidad de recepción de desechos.

Dentro de los materiales que se pueden reciclar encontramos, botellas de vidrio, PET, PEAD, papel, cartón, material ferroso, aluminio y cobre.

Es importante difundir en la ciudadanía una cultura del reciclaje y revalorización de residuos, a fin de permitir:

- Disminuir la cantidad de residuos sólidos urbanos y de manejo especial que llegan al relleno sanitario.
- Prolongar la vida útil del mismo.
- Aprovechar los materiales susceptibles de reutilización.
- Generar ingresos por la comercialización de los materiales reciclados.

Finalmente, es importante señalar que las personas que se dedicaban a la pepena en el antiguo basurero municipal, son los mismos que

actualmente laboran en la planta de selección, en condiciones más dignas para su integridad.

Tabla II. Concentrado general detallado de kilogramos ingresados

Material	2008	2009	Totales
Ingresado	7,826,790	8,688,265	16,515,055
Bote aluminio	3,880	5,735	9,615
Aluminio macizo	1,180	-	1,180
Chatarra	16,230	53,635	69,865
Bote ferroso	28,790	-	28,790
PET	139,650	151,835	291,485
Archivo blanco	102,170	144,625	246,795
Archivo revuelto	19,410	-	19,410
Vidrio	61,935	78,190	140,125
Cartón	169,885	252,865	422,750
PEAD	49,505	72,910	122,415
Tetrapak	2,290	-	2,290
Bolsas	-	12,335	12,335
Filtros	-	2,640	2,640
Motores	-	2,535	2,535
Cables	-	1,280	1,280
Total	594,925	778,585	1,373,510
Días trabajados	169	196	365
Promedio por día	3,520	3,972	3,763
% Separado total	7.6	9.0	8.3

Disposición final

De manera general se puede distinguir varios métodos para disponer los residuos, sin que, esto quiera decir que son los más adecuados, se conocen por lo menos: el vertido a corrientes de agua o al mar, los tiraderos a cielo abierto y el relleno sanitario.

Actualmente el relleno sanitario es la tecnología más utilizada para la disposición final de residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial en México y el mundo, lo anterior debido a que ha demostrado ser un método relativamente económico, de fácil ejecución y eficaz en la prevención y protección de riesgos sanitarios. Por esa razón la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, en su numeral 5.1, establece que los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que no sean aprovechados o tratados, deben disponerse en sitios de disposición final con apego a la presente Norma, la cual incluye elementos que hacen referencia a los rellenos sanitarios.

El Relleno Sanitario de Tuxtla Gutiérrez ubicado en el predio San Francisco Tucutzano, se encuentra diseñado para una vida útil de 20 años, operando a través de 7 celdas de confinamiento que serán construidas de manera paulatina; además se encuentra equipado con una celda de emergencia, tubería para la conducción de lixiviados, cárcamos de captación y bombeo de lixiviados, pozos para la ventilación de biogás, laguna para el almacenamiento y evaporación de lixiviados, maquinaria pesada especial para el manejo de los residuos sólidos, planta generadora de energía eléctrica, camión pipa y unidades tipo volteo, entre otros.

Comentarios finales

En las administraciones 2002-2004 y 2005 -2007, el ayuntamiento se enfrentó a diversos procesos administrativos, instaurados por distintas instancias ambientales, por los considerables riesgos sanitarios que representaba el sitio de disposición final de residuos sólidos causado entre otros por la falta de un plan de operación del sitio así como por una larga y constante falta de interés en mejorar las condiciones del sitio de disposición final.

El Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (PMPGIRSU) es un instrumento estratégico y dinámico para la implementación de una política municipal en el sector, basado en un diagnóstico de la situación actual y bajo los prin-

cipios de responsabilidad compartida o corresponsabilidad de: municipio, entidades federativas, federación, sector privado y la ciudadanía en el sector de acuerdo a los siguientes objetivos:

- Asegurar la prestación del servicio público de manejo integral de los RSU
- Limitar los impactos a la salud de corto, mediano y largo plazo
- Limitar la afectación ambiental
- Dar prioridad a la prevención y valorización de los RSU
- Dar viabilidad operacional y económica
- Considerar la situación socio-económica
- Brindar flexibilidad para la actualización del programa.

Así que entre las acciones necesarias y atinadas, se buscó a través del PMPGIRSU para fortalecer la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, a través de un conjunto de estrategias consensuadas, evaluadas y reales que permitan establecer un sistema técnico y económicamente factible, socialmente aceptable y ambientalmente sustentable, que en cierta medida han permitido modernizar, en términos generales la gestión de los residuos sólidos no peligrosos.

Referencias Bibliográficas

1. Argemi F., N. Cianni, A. Porta, 2005, “Disrupción endocrina: perspectivas ambientales y salud pública”, en *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 39 (3): 291-300
2. Bitrán y Asociados, 2003, “Estudio de políticas de abatimiento de gas de efecto invernadero y desarrollo económico: sinergias y desafíos en el sector de los rellenos sanitarios en el caso de Chile”, en *Economía de los recursos naturales y el medio ambiente*, Chile.
3. Comisión intersecretarial de cambio climático, 2007, *Estrategia nacional de cambio climático*, México.
4. CONAPO, 2005, *Proyección de la Población total de los municipios a mitad de año, 2005-2030*, México.
5. Cortinas, de N., C., 2001, *Hacia un México sin basura, bases e implicaciones de las legislaciones sobre residuos*, Talleres Gráficos de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, México D. F.
6. Cortinas, de N., C., 2003, *Los contaminantes orgánicos persistentes: una visión regional*, Talleres Gráficos de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. México, D. F.
7. Cossu R, Haarstad, Lavagnolo M. y Littaru P., 2001, *Removal of municipal solid waste COD and NH₄-N by phyto-reduction: A laboratory-scale*

- comparison of terrestrial and aquatic species at different organics loads*, Elsevier Science Ltd.
8. Ding A., Zhang Z., Fu J. y Chen L., 2001, *Biological control leachate from municipal landfill*, Elsevier Science Ltd.
 9. Escamirosa Franco *et al.*, 2001, *Manejo de los residuos sólidos domiciliarios*, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
 10. INE, 1997, *Estadísticas e indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México*, Talleres de Desarrollo Gráfico Editorial S.A. de C.V., México D.F.
 11. Granados J., 2006, *Las selvas tropicales y el cambio climático*, Mérida, Yucatán México.
 12. Instituto de Historia Natural y Ecología del Estado de Chiapas, 2008, *Situación de los sitios de disposición final de residuos sólidos en Chiapas*, Tercer ciclo de seminarios, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Instituto Historia Natural y Ecología del Estado de Chiapas (No publicado).
 13. Instituto de Historia Natural y Ecología del Estado de Chiapas, Secretaría de Salubridad y Asistencia, Secretaría de Turismo, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003, *Manual de manejo adecuado de los residuos sólidos municipales*, Chiapas, México.
 14. Instituto de Ingeniería UNAM, 2006, *Manejo de lixiviados y biogás generados en un relleno sanitario (generación, control, tratamiento y aprovechamiento)* México, D.F.
 15. Najera A. H., Vera P., 2006, *Diagnóstico Ambiental del sitio de disposición final de residuos sólidos de Tuxtla Gutiérrez*. Con clave: CHIS-2005-C03-070, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas, No publicado.

16. Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, *Que contiene las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura, y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial*, México.
17. Olea N., M. F. Fernández, P. Araque, F. Olea-Serrano, 2002, *Perspectivas en disrupción endocrina*, Laboratorio de Investigaciones Médicas. Hospital Clínico, Universidad de Granada, Gac Sanit; 16(3): 250-6
18. Peter Orris, Lin Kaatz Chary, Karen Perry, 2000, *Persistent Organic Pollutants and Human Health*. Persistent Organic Pollutants Project, World Federation of Public Health Association.
19. Gobierno del estado de Chiapas, 2007, *Plan de Desarrollo Chiapas Solidario 2007-2012*, Talleres Gráficos del gobierno del estado.
20. Ayuntamiento Constitucional de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 2005-2007, 2006, *Plan de Gestión Segregada de Residuos Sólidos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*.
21. Ayuntamiento Constitucional de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 2008-2010, 2009, *Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos del Municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*.
22. Secretaría de Desarrollo Social, 2001, *Minimización y Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos*, Primera reedición. México.
23. Secretaría de Desarrollo Social, 2007, *Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas*. Rellenos sanitarios, México D. F.
24. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1999. *Minimización y Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos*, México, D. F.

25. Sancho y Cervera, J. – Rosiles, G, 2005, *El manejo de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en México*, SEDESOL.
26. Tchobanoglous G; Thaisen H, Vigil S., 1997. *Gestión integral de residuos sólidos*, Editorial McGraw hill Vol. I. pg. 130.
27. Volke-Sepúlveda, T. y J. A. Velasco-Trejo, 2002, *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
28. <http://www.semarnat.gob.mx/estados/chiapas/temas/Paginas/ManejoIntegraldeContaminantes.aspx>
29. <http://www.senado.gob.mx/gace2.php?sesion=2005/06/01/1&documento=56>

III. Una alternativa para el tratamiento de lixiviados maduros generados en el relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Hugo Alejandro Nájera Aguilar, María Neftalí Rojas Valencia

Introducción

De acuerdo con la normatividad ambiental en el territorio nacional, el método más adecuado para disponer los residuos sólidos urbanos (RSU) y de manejo especial (ME) es el relleno sanitario, cuyas instalaciones son diseñadas, construidas y operadas con el fin de minimizar los impactos adversos hacia el entorno. En él se utilizan principios de ingeniería para lograr el confinamiento seguro de los residuos sólidos. En general, la técnica del relleno sanitario consiste en depositar la basura por capas, distribuyéndola y compactándola con maquinaria pesada, para reducir su volumen y maximizar la vida útil del relleno.

En la operación de estos sitios, además del biogás producido y de materiales inertes, se tienen emisiones líquidas. Para el caso del biogás, éste se compone principalmente por metano y bióxido de carbono, en tanto que la fracción líquida mejor conocida como lixiviado proviene de desechos heterogéneos en composición. Estos líquidos arrastran todo tipo de contaminantes, muchos de ellos en concentraciones elevadas, por lo que son considerados como uno de los residuos más complejos y difíciles de tratar^[1]. Los lixiviados contienen concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo ácidos húmicos, nitrógeno amoniacal y metales pesados, así como sales inorgánicas^[2-3].

De acuerdo con Kurniawan *et al.*^[4], Deng y Englehardt^[5] y Tizaoui *et al.*^[6], cuando estos líquidos no son controlados pueden permear hasta llegar al agua subterránea o mezclarse con aguas superficiales y ocasionar la contaminación de suelos y cuerpos de agua. En la actualidad, el nulo manejo de los lixiviados constituye la práctica común en el Estado de Chiapas, lo que deja ver el poco interés y conocimiento que hasta la fecha se ha tenido con uno de los residuos más complejos y contaminantes -sino el mayor- de los generados ininterrumpidamente en el territorio estatal^[7].

Generalmente la biodegradabilidad de un lixiviado se mide en base a la relación entre las demandas bioquímica y química de oxígeno (DBO/DQO). Wang *et al.*^[8] definen a un lixiviado pobre en biodegradabilidad cuando su relación o Índice de Biodegradabilidad (IB) se sitúa en valores de 0 a 0.17, en tanto que otros autores consideran valores menores a 0.3^[9]. A este tipo de lixiviado se le conoce como viejo o estabilizado. Por el contrario, cuando el IB es superior a 0.3, se considera que el lixiviado es biodegradable y es conocido como lixiviado joven -típicamente menor a dos años de edad-^[10]. Así, para este tipo de lixiviado, siempre será recomendable aplicar tratamientos biológicos como primera etapa de tratamiento; mientras que para un lixiviado viejo, los procesos fisicoquímicos se convierten en la mejor opción^[4].

Dentro de los tratamientos fisicoquímicos destacan la coagulación-floculación, la adsorción con carbón activado, la precipitación química, los procesos con membrana y la oxidación química^[11], destacando dentro de estos últimos, los Procesos Avanzados de Oxidación (PAO).

En el tratamiento de lixiviados, la coagulación se ha empleado como pretratamiento antes de los procesos biológicos o como etapa de pulimento para remover componentes orgánicos no biodegradables, o bien, bajo esquemas acoplados con PAO^[12]. Renou *et al.*^[13] reportan 15 estudios conducidos en diferentes partes del mundo, en donde se ha ensayado el proceso de coagulación-floculación. En ellos se evaluaron diferentes coagulantes, tales como sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloruro férrico (FeCl_3) e hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), buscando las condiciones experimentales óptimas de pH, dosis y velocidades de

mezclado. Las eficiencias de remoción alcanzadas (8-90% en DQO) empleando uno o dos de estos coagulantes así como las condiciones de trabajo han sido muy variadas. De igual manera, en el proceso de coagulación-floculación se ha evaluado la remoción de otros parámetros, tal como se presenta en el trabajo realizado por Aziz *et al.*^[14], quienes reportan remociones altas de sólidos suspendidos (95%) y de color (90%), y regulares en DQO (43%), con el uso de tres tipos de coagulantes.

Por lo que toca a los PAO's, estos pueden clasificarse en dos grupos:

- Sin aporte de energía:
 - O_3 (ozonación)
 - O_3/H_2O_2 (ozonación con peróxido de hidrógeno)
 - H_2O_2/Fe^{2+} (reacción Fenton)
- Con aporte de energía:
 - O_3/UV (ozonación con luz UV)
 - H_2O_2/UV (peróxido de hidrógeno con luz UV)
 - $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$ (Foto Fenton)
 - $O_3/H_2O_2/UV$ (ozonación con peróxido de hidrógeno y luz UV)
 - O_3/US (ozonación ultrasonicación).
 - H_2O_2/US (peróxido ultrasonicación)
 - entre otros.

En términos generales, estos procesos se han probado en lixiviados durante las últimas dos décadas, observando buenas eficiencias cuando la materia orgánica presente es poco biodegradable^[2 8 14]. Para el presente trabajo, dado que se experimentó con la reacción Fenton, a continuación se hace mención de algunos trabajos reportados en la literatura donde se ha ensayado con dicho PAO. Por ejemplo, Zhang *et al.*^[15] a través del proceso Fenton reportan eficiencias de remoción de DQO del orden del 60%. De igual manera, Deng^[9] probó la remoción de contaminación por materia orgánica, medida como DQO, usando un proceso de oxidación vía Fenton, reportando eficiencias arriba del 60%. En lo relacionado a sistemas acoplados aplicados a lixiviados maduros, los PAO y otros fisicoquímicos han demostrado ser muy eficientes, tal y

como lo manifiestan Primo *et al.*^[16] quienes ensayaron un proceso integrado (Reacción Fenton – Ultrafiltración) alcanzando remociones del 80% de DQO, valor similar al 78% en remoción de DQO reportado por otros autores^[12] en un sistema acoplado coagulación-ozonación.

Basados en los estudios ya descritos y viendo la necesidad de tratar los lixiviados y la particularidad de los mismos, el objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia de un sistema acoplado (coagulación-floculación-Fenton), buscando las condiciones óptimas de operación en la remoción de materia orgánica medida como DQO y la evolución del IB, para lixiviados estabilizados del relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, bajo distintas condiciones de operación y con dos coagulantes diferentes para la primera etapa, en tanto que para la segunda, se experimentó con la reacción Fenton. Los ensayos bajo este sistema acoplado representa la primera aplicación a lixiviados recalci-trantes en México.

Metodología

Mensualmente, de mayo a diciembre del 2008, los lixiviados fueron colectados de los tres cárcamos existentes en la zona clausurada (12 Ha) del relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez (figura 1). Las muestras fueron refrigeradas a 4°C hasta su análisis. La metodología que se siguió para el análisis de las muestras de lixiviados se basó en las normas mexicanas vigentes para aguas residuales: NMX-AA-030-SCFI-2001 (Demanda Química de Oxígeno), NMX-AA-028-SCFI-2001 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), NMX-AA-008-SCFI-2000 (Determinación del pH), NMX-AA-036-SCFI-2001 (Determinación de acidez y alcalinidad) y NMX-AA-051-SCFI-2001 (Determinación de metales). Estas metodologías fueron adaptadas a las características particulares de los lixiviados.

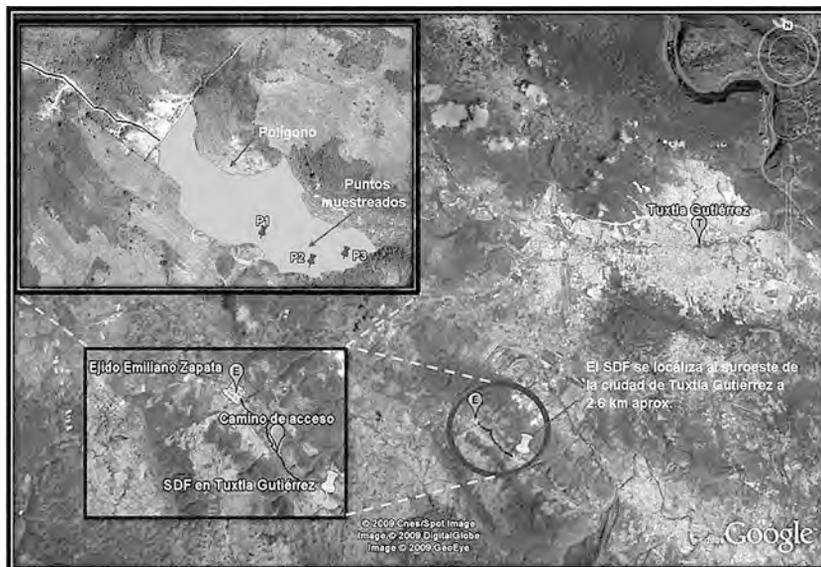


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

Los ensayos de coagulación-floculación y del sistema Fenton se llevaron a cabo en un equipo de prueba de jarras (PHIPPS AND BIRD, modelo PB-700), adaptándose 6 vasos de precipitado de 150 mL cuyo contenido fue agitado con turbinas tipo Rushton (dimensiones de paletas de 18.5 mm x 43.5 mm). Antes de iniciar las pruebas, las muestras fueron llevadas a temperatura ambiente, agitadas y filtradas para remover cualquier sólido grueso presente. El volumen de muestra por vaso fue de 100 mL.

Como sustancias coagulantes se utilizó cloruro férrico (FeCl_3) y sulfato ferroso (FeSO_4) de la marca Fermont grado reactivo, variando las concentraciones así como los valores de pH de reacción (4-6), partiendo de condiciones óptimas encontradas por Monje y Orta^[12] para el proceso de coagulación con FeCl_3 . Los ensayos realizados siguieron el modelo de un diseño factorial de $3 \times 3 \times 2$, dando un total de 18 tratamientos diferentes. De cada tratamiento se realizaron 10 repeticiones, en total 180 réplicas.

La mezcla rápida se llevó a cabo por 80 segundos a 250 rpm, valores cercanos a los reportados por Castillo *et al.*^[17]. Para la mezcla lenta,

se fijó un tiempo de 20 minutos y 30 rpm para favorecer la agregación de flóculos^[18]. Enseguida, las muestras se dejaron sedimentar por espacio de 30 minutos. Pasado este período, alrededor de 10 mL de muestra fueron tomados 2 cm por debajo del nivel del sobrenadante. A estas alícuotas de lixiviados se les determinó la concentración final de carga orgánica medida como DQO. De igual manera, se determinaron las lecturas iniciales de DQO en las muestras de lixiviados, cuya concentración se encontró en el orden de los 2400±100 mg/L. Todas las repeticiones fueron ajustadas a estos valores.

La eficiencia de remoción de la DQO fue obtenida usando la ecuación (1), donde C_i y C_f representan la concentración inicial y final de DQO en mg/L, respectivamente.

$$\% \text{Remoción} = [(C_i - C_f)/C_i] \times 100, \quad (1)$$

El efluente pre-tratado derivado del tratamiento más eficiente, se sometió en una segunda etapa a la reacción Fenton, tal y como se describe a continuación:

Pruebas preliminares con el sistema Fenton permitieron identificar que los mejores niveles de remoción se logran con valores de pH entre 2.5 y 3.5 en el medio de reacción. Ante esto, todas las pruebas siguientes fueron corridas a pH 2.5, 3.0 y 3.5. Para ajustar el pH se utilizó ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 10%.

En el caso de los reactivos de Fenton, se probaron diferentes relaciones másicas entre agente oxidante y catalizador (H_2O_2/Fe^{++}) desde 1 hasta 3, dejando como valor fijo la dosis de catalizador. De esta manera, para establecer las condiciones más adecuadas en la remoción de materia orgánica y considerando como factores al agente oxidante y al pH, se corrieron los experimentos con 3 niveles en un diseño factorial 3^2 . De cada tratamiento se realizaron 10 repeticiones, 90 réplicas en total.

Para el desarrollo de los ensayos de oxidación el equipo de prueba de jarras se ajustó a una velocidad de agitación de 135 rpm por espacio de 80 minutos. Pasado este tiempo, el pH de la solución fue llevado a valores de 7 a 8 con hidróxido de sodio (NaOH) 2 M para favorecer el proceso de floculación, el cual se llevó a cabo por espacio de 20 minutos

a 20 rpm. Los flocúlos formados fueron separados por 1 hr en una probeta. Así como en el proceso de coagulación-floculación, la eficiencia de remoción en el parámetro DQO se obtuvo usando la ecuación (1). Finalmente, los datos generados en ambas etapas se analizaron a través de una varianza de 2 vías utilizando el paquete estadístico JMP 5.1.

Resultados y discusión

En el año 2006 el sitio en estudio todavía se encontraba en operación y Cisneros *et al.*^[19] realizaron muestreos mensuales a los lixiviados producidos. Para el presente proyecto, durante 8 meses del año 2008, cuando el sitio ya se había clausurado, se realizaron otra serie de muestreos. Los resultados principales de ambos períodos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características de los lixiviados del área clausurada del sitio de disposición final de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Parámetro	2006 ^[19]				2008			
	Conc. (mg/L)			Desv.	Conc. mg/L			Desv.
	Prom	Mín	Máx	est.	Prom	Mín	Máx	est.
pH	8.022	7.7	8.42	0.192	8.556	8.37	8.83	0.173
IB	0.160	0.010	0.470	0.183	0.146	0.02	0.19	0.053
Alcalinidad	10011	6783	14613	2014	9134	8546	9769	427.6
SST	559.3	75	1223	384.5	502.8	395.5	610	151.7
Fierro	31.539	17.83	56.47	13.985	21.16	17.12	25.197	5.711
Níquel	1.092	0.79	1.49	0.186	1.640	1.4	1.88	0.339
Plomo	0.244	0.165	0.364	0.062	1.851	0.477	3.225	1.943
Zinc	1.631	0.809	2.348	0.533	3.425	2.445	4.405	1.386
Cobre	0.119	0.085	0.144	0.019	0.190	0.144	0.235	0.064
Cadmio	0.018	0.014	0.0282	0.004	Nr	nr	Nr	nr
Cromo	1.919	1.07	2.87	0.673	2.727	1.964	3.49	1.079

pH = Potencial de hidrógeno; IB = Índice de Biodegradabilidad; SST = Sólidos suspendidos totales; nr = no reportado.

Los resultados muestran para ambos períodos un índice de biodegradabilidad (IB) inferior a 0.3, valor de suma importancia dado que define en gran medida el tipo de lixiviado y tratamiento a efectuarse. De acuerdo con Wang *et al.*^[8], Deng^[9] y Luna *et al.*^[1], los valores inferiores a 0.3 indican que el lixiviado es maduro o de tipo III. Por lo tanto, autores como Aziz *et al.*^[14] lo catalogan como poco biodegradable por la presencia de materiales orgánicos recalcitrantes que son parcialmente estables y biológicamente resistentes, como es el caso de ácidos húmicos y fúlvicos así como de diferentes sales^[2].

De igual manera, Wang *et al.*^[8] reportan la caracterización de lixiviados maduros en más de 20 trabajos efectuados en diferentes partes del mundo, en los cuales se encontraron valores de IB inferiores a 0.3 y de pH y alcalinidad en el rango de 6.8-9.0 y 1,020-12,300 mg/L de CaCO₃, respectivamente. En el caso del presente trabajo, los IB son menores a 0.3 y los valores promedio de pH (8.02-8.55) y alcalinidad (9,134-10,011) también quedaron comprendidos dentro de los rangos característicos de los lixiviados maduros.

Respecto a la presencia de sólidos suspendidos totales (SST), en este estudio se obtuvo una concentración promedio relativamente alta (559 mg/L) si se compara con valores registrados para lixiviados maduros por diversos autores, tales como Aziz *et al.*^[14], Cabeza *et al.*^[20] y Primo *et al.*^[16], quienes reportan valores para SST en el rango de 280-320 mg/L. No obstante, los resultados del presente estudio fueron equiparables a los 550 mg/L encontrados por Lei *et al.*^[21] para lixiviados del relleno sanitario de Shanghai. Realmente, es muy difícil establecer un rango en los valores de este parámetro, dado que su concentración depende de diversos factores tales como la composición de los residuos, el nivel de compactación en los mismos, las características del material de cubierta y su compactación, entre los principales.

Ahora bien, los niveles de metales pesados, mostraron cierta similitud con los reportados para otros rellenos sanitarios en fase metanogénica (Tabla 2). Sin embargo, los valores altos de fierro registrados en el lugar de estudio (21.16-31.54 mg/L) fueron superiores a los reportados para el relleno sanitario de Curitiba, Brasil (13.212 mg/L)^[2] y para los rellenos sanitarios de México, como es el caso del ubicado en la Ciu-

dad de Mérida, Yucatán, con valores de 8.54 mg/L^[22]. De acuerdo con Nájera *et al.*^[23], las rocas que afloran en la zona clausurada del SDF de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, corresponden a interacciones de arenisca con limonitas además de lutitas y calizas arcillosas. Como se sabe, las limonitas son un grupo de minerales de hierro, lo que puede explicar la elevada concentración de este elemento en el lixiviado, esto considerando que Tuxtla Gutiérrez no es una ciudad industrializada.

Tabla 2. Concentración de metales pesados en lixiviados maduros de diferentes rellenos sanitarios

Parámetro (mg/L)	Relleno sanitario (valores promedio)			
	Bordo Poniente (México) ^[18]	Mérida, Yuc., (México) ^[22]	Jebel Chakir (Túnez) ^[6]	Curitiba (Brasil) ^[2]
Fierro	nr	8.54	nr	13.212
Niquel	nr	0.35	0.53	1.429
Plomo	nr	0.03	nr	0.278
Zinc	0.44	0.59	0.94	1.059
Cobre	0.19	0.063	0.14	0.362
Cadmio	0.13	0.0014	nr	nr
Cromo	2.42	nr	2.24	0.451

nr = No reportado.

Con lo antes expuesto y específicamente en lo relacionado a los parámetros básicos (pH, alcalinidad, IB, etc.)^[8], quedó definido que el lixiviado es del tipo III o mejor conocido como maduro o viejo. Autores como Deng y Englehardt^[5], Kurniawan *et al.*^[4] y Méndez *et al.*^[22] recomiendan para el tratamiento de estos líquidos, los procesos fisicoquímicos como primera etapa. Por tanto, en el presente trabajo se trató con un sistema fisicoquímico acoplado; la coagulación-floculación utilizando FeSO₄ y FeCl₃ en una primera etapa, y la reacción Fenton para una segunda.

Para la primera etapa, las eficiencias de remoción promedio obtenidas en cada tratamiento y coagulante, se muestran en la tabla 3 bajo el diseño factorial 2x3x3.

Tabla 3. Eficiencias de remoción en DQO obtenida para cada tratamiento en el proceso de coagulación-floculación

	FeCl ₃			FeSO ₄		
Dosis	pH 4	pH 5	pH 6	pH 4	pH 5	pH 6
2.2 g/L	43.8±2.96	47.7±2.91	65.5±2.60	8.4±0.75	10.1±0.60	9.3±0.94
2.6 g/L	46.4±3.39	47.9±4.91	64.9±2.75	11.9±1.86	10.1±1.16	13.7±1.17
2.8 g/L	45.3±4.50	50.5±3.10	59.6±5.00	10.3±1.17	13.5±1.56	11.9±0.84

Los resultados de la tabla 3 muestran que todos los tratamientos con FeCl₃ alcanzaron remociones por arriba del 40%, muy superiores a las registrados con FeSO₄ (alrededor del 10%). De los valores de pH probados, el pH de 6, registró las mayores eficiencias de remoción, acompañadas de la dosis más baja de FeCl₃ (2200 mg/L). Estos resultados coinciden en parte con lo reportado por Aziz *et al.*^[14] en cuanto a la superioridad del FeCl₃ sobre el FeSO₄ en la remoción de materia orgánica y con mayores eficiencias de remoción a pH 6. Sin embargo, la mayor eficiencia que Aziz *et al.*^[14] reportaron fue de 44.7% de DQO partiendo de una dosis y concentración inicial de 2500 y 2980 mg/L de coagulante y DQO, respectivamente, mientras que en el presente estudio, las eficiencias de remoción alcanzadas en DQO fueron de 65%. Dicho valor es similar al obtenido por Monje-Ramírez y Orta de Velásquez^[12], quienes reportaron una remoción del 67% de DQO empleando FeCl₃ como coagulante, lo que demuestra la efectividad del proceso de coagulación floculación en la remoción de carga orgánica de lixiviados maduros, así como la viabilidad de ser aplicado como etapa de pretratamiento dentro de un sistema acoplado, tal y como lo manifiestan los resultados de diversas investigaciones^[13 24 25 26].

Asimismo, se realizó un análisis de varianza observándose que el 60% (n=90) de los datos presentaron variabilidad, y que el nivel de pH 6 fue significativamente diferente ($p=3.3 \times 10^{-19}$) a los dos restantes (figura 2a), lo cual también sucedió para la interacción entre tratamientos (figura 2b), al observarse que todas las combinaciones a pH 6 presentaron diferencias significativas ($p=0.137$) con el resto de combinaciones a pH

4 y 5. Así, las mejores eficiencias de remoción fueron obtenidas a pH 6 con la dosis más baja de coagulante.

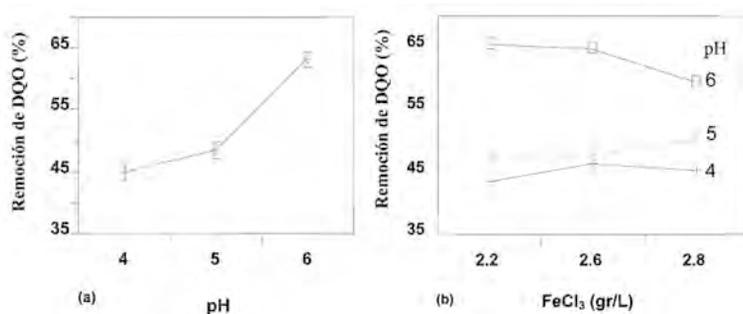


Figura 2. Gráficas de promedios (\pm error estándar): (a) Para el tratamiento con pH; (b) Para la interacción entre tratamientos.

Con respecto al IB determinado en el efluente del mejor tratamiento, no se tuvo cambio alguno al mantenerse éste en 0.14 como al inicio del proceso. Esto puede atribuirse a que en el proceso de coagulación, las partículas coloidales que principalmente se remueven son sustancias húmicas^[27], con lo que puede esperarse que no haya habido transformación de compuestos recalcitrantes a formas más biodegradables.

El efluente del mejor tratamiento con FeCl₃, fue sometido en una segunda etapa a un proceso avanzado de oxidación (reacción Fenton).

Los resultados promedio obtenidos para cada tratamiento, se muestran en el tabla 4 bajo el diseño factorial 3².

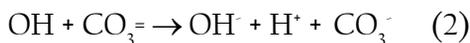
Tabla 4. Efecto del pH y dosis de H₂O₂ sobre la remoción de DQO en el proceso Fenton

	Dosis H ₂ O ₂ (mg/L)		
	300	550	800
pH	% remoción DQO		
2.5	48.92±8.44	49.44±9.39	69.96±3.01
3.0	24.50±5.99	29.50±6.90	39.55±8.00
3.5	25.33±8.00	26.18±4.34	34.01±6.57

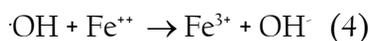
Los resultados señalan que las mejores eficiencias de remoción se tuvieron con el valor más bajo de pH (2.5) para todos los tratamientos, obteniéndose la mayor remoción en DQO (69.96%) con la dosis más alta de agente oxidante (800 mg/L). Al igual que sucedió en la primera etapa, el pH demostró una fuerte influencia sobre el proceso.

El valor bajo de pH queda fuera del rango (3.0 a 6.0) reportado por Wang *et al.*^[8] y de los óptimos encontrados (pH=3) por Kim *et al.*^[28] y Kim *et al.*^[29] pero coincide con el obtenido por Zhang *et al.*^[15]. Asimismo, se corrobora lo que estos últimos autores comentan, con respecto a que el pH representa uno de los factores de mayor influencia en el proceso Fenton. Así por ejemplo, si el pH se encuentra por debajo de su valor óptimo, la oxidación en el proceso se puede inhibir, dado a que el exceso de H⁺ puede actuar como un competidor por los radicales hidroxilo (OH)^[30].

Ahora bien, si el pH se encuentra por arriba del óptimo, especialmente a valores cercanos a la neutralidad, pueden presentarse aún más mecanismos de inhibición. Uno de los principales se relaciona con el efecto competidor que ciertos compuestos como los carbonatos (CO₃⁻) y bicarbonatos (HCO₃⁻), exhiben al reaccionar fácilmente con los OH de acuerdo con las ecuaciones 2 y 3 propuestas por Buxton *et al.* (1988).



Por lo que toca a la relación H₂O₂/Fe²⁺, se observa que los mejores resultados se alcanzaron cuando la relación molar fue de 3, lo que coincide con lo reportado por Deng^[10], quien comenta que la eficiencia de oxidación en el proceso Fenton disminuye cuando la relación molar es <3, debido al incremento del efecto competidor del Fe²⁺ sobre los OH, tal y como se muestra en la ecuación 4.



En cuanto a la eficiencia de remoción alcanzada (70%), esta fue alta si se compara con las remociones mayores reportadas en la literatura

para lixiviados maduros bajo el proceso Fenton, tal es el caso de los trabajos conducidos por Zhang *et al.*^[15] y Deng^[10] quienes obtuvieron un 61% de remoción de DQO, o el reportado por Kim y Huh^[31] con un 69% de remoción.

El análisis de varianza efectuado reveló que el 78% (n=90) de los datos presentaron variabilidad, y que el nivel de H₂O₂ a 800 mg/L ($p=1.55 \times 10^{-26}$) y el de pH a 2.5 ($p=2.43 \times 10^{-11}$), fueron significativamente diferentes al resto de niveles. Ahora bien, en la interacción entre tratamientos se observa de la figura 3, que todas las combinaciones a pH 2.5 presentaron diferencias significativas ($p=0.172$) con el resto de combinaciones a pH 3 y 3.5. Las mejores eficiencias de remoción fueron obtenidas a pH 2.5 y con la dosis más alta de agente oxidante.

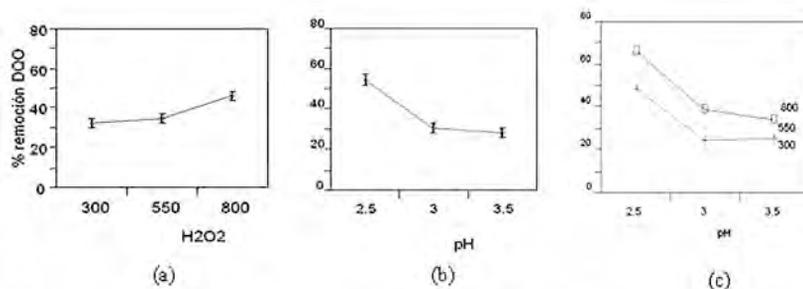


Figura 3. Gráficas de promedios (\pm error estándar): (a) Para el tratamiento con H₂O₂; (b) Para el tratamiento con pH; (c) Para la interacción entre tratamientos.

Con respecto al IB, se sabe de que la reacción Fenton propicia la generación de radicales oxidrilo ($\cdot\text{OH}$)^[8], especies altamente oxidantes con la capacidad de reaccionar prácticamente con cualquier molécula de naturaleza recalcitrante^[2] y transformarla a moléculas menos complejas y más biodegradables^[12], y como consecuencia, incrementar la biodegradabilidad del lixiviado^[5], ante lo cual se esperaba un incremento en el valor de dicho índice, lo que sucedió al pasar de 0.14 a 0.23, es decir, fue mejorado en un 64%. Al comparar el resultado con los de otros estudios (tabla 5), se observa que es similar al obtenido por Kim *et al.*^[29] y superior al reportado por Méndez *et al.*^[32]. Sin embargo, el incremento en dicho índice fue bajo si se compara con lo reportado por

López *et al.*^[33] y Lopes y Peralta^[2] cuyos IB finales estuvieron en el rango de 0.37 a 0.50, mostrando un incremento del orden del 200%. Esta variación hizo suponer que una cantidad considerable en los constituyentes orgánicos finales del efluente tratado, no eran propiamente de naturaleza orgánica, tal y como quedó demostrado con determinaciones en el parámetro de carbono orgánico total, el cual representó apenas el 48% del valor final de la DQO. Lo anterior es parte de la variabilidad que exhiben este tipo de líquidos en su composición, y que propicia que no exista un determinado tren de tratamiento que garantice eficiencias aceptables en la remoción de contaminantes para cualquier lixiviado.

Tabla 5. Índice de biodegradabilidad en lixiviados maduros después de la aplicación de procesos avanzados de oxidación

PAO	IB _o	IB _f	Referencia
H ₂ O ₂ /Fe ⁺⁺	–	0.22	[29]
H ₂ O ₂ /Fe ⁺⁺	0.07	0.1	[32]
H ₂ O ₂ /Fe ⁺⁺	0.20	0.50	[33]
Fe ⁺⁺ /H ₂ O ₂ /UV	0.13	0.37	[2]
H ₂ O ₂ /UV	0.13	0.42	[2]
O ₃ /UV	–	0.32	[34]

PAO: Proceso Avanzado de Oxidación; IB_o e IB_f: Índice de Biodegradabilidad inicial y final, respectivamente.

En suma, la eficiencia total de remoción de DQO bajo el sistema acoplado ensayado coagulación-floculación-Fenton fue de 90%, valor ligeramente superior a los reportados para otros sistemas acoplados, como el de coagulación-Fenton conducido por Yoon *et al.*^[35] quienes reportaron un 73% de remoción, o el de coagulación-ozonación llevado a cabo por Monje-Ramírez y Orta de Velásquez^[12] con una eficiencia del 78%, o el reportado por Primo *et al.*^[16] bajo un esquema integrado reacción Fenton-ultrafiltración que alcanzó un 80% en la remoción de DQO.

Conclusiones

El proceso de coagulación-floculación aplicado a los lixiviados maduros del relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, demostró ser efectivo en la remoción de carga orgánica medida como DQO cuando se empleó FeCl_3 como coagulante, obteniéndose las mejores eficiencias de remoción (65.5%) a pH 6 y a una dosis de 2.2 g/L, bajo las condiciones de 250 y 30 rpm de mezcla rápida y lenta, respectivamente. Por el contrario, el FeSO_4 utilizado como coagulante en la remoción de materia orgánica recalcitrante, exhibe un comportamiento pobre con apenas 10% en promedio de remoción.

En cuanto al proceso Fenton, demostró ser eficiente en la remoción de DQO (70%), al obtenerse eficiencias equiparables a las más altas reportadas en la literatura.

Así, el trabajo demuestra que el sistema acoplado coagulación-floculación-Fenton, puede ser aplicado en el tratamiento de lixiviados maduros del área de estudio, con altas eficiencias de remoción de carga orgánica del orden del 90% en DQO, lo que es importante dado a que representa la primera experiencia de tratabilidad de lixiviados en el estado de Chiapas, y los primeros ensayos aplicados a lixiviados recalcitrantes en México bajo este sistema acoplado.

De acuerdo al comportamiento constante observado en el valor del IB en el proceso de coagulación-floculación, la remoción de carga orgánica puede atribuirse básicamente al arrastre de partículas coloidales de naturaleza húmica que no sufren transformación en su estructura química, en tanto que el proceso Fenton, hace posible la transformación de materiales recalcitrantes a formas más biodegradables, lo que permitió mejorar el IB de los lixiviados al pasar de 0.14 a 0.23, pudiendo justificarse una última etapa de depuración, pero bajo un sistema biológico.

Agradecimientos

Se agradece a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas, en especial a la Dra. Daisy Escobar Castillejos -Jefa del La-

boratorio y al Dr. José Alonso Figueroa Gallegos (Director de dicha Facultad), por las facilidades brindadas para realizar las pruebas experimentales en el Laboratorio de Calidad del Agua.

Referencias Bibliográficas

1. Luna, Y., Otaol, E., Vilches, L., Vale, J., Querol, X., Fernández, C., 2007, Use of zeolitised cal fly ash for landfill leachate treatment: A pilot plant study. *Waste Management*. 27. 1877-1883.
2. Lopes, J., y Peralta, P., 2005, Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials*. B123. 181-186.
3. Wiszniowski, J., D. Robert, J. Surmacz-Gorska, K. Miksch and J-V. Weber, 2006, Landfill leachate treatment methods: Review. *Environ Chem Lett*. 4, 51-61
4. Kurniawan, T., W. Lo and G. Chan, 2006, Physicochemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *J. Hazard. Mater*. B129. 80-100
5. Deng, Y., & Englehardt J., 2007, Treatment of landfill leachate by the Fenton process. *Water Research*. 40. 3683-3694.
6. Tizaoui, C., L. Bouselmi, L. Mansouri and A. Ghrabi, 2007, Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems, *J. Hazard. Mater*. 140. 316-324.
7. Nájera, H. A., J.H. Castañón, J. A. Figueroa and M. N. Rojas-Valencia, 2009, Caracterización y tratamiento físicoquímico de lixiviados maduros producidos en el sitio de disposición final de Tuxtla Gu-

- tierrez, Chiapas, México. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Barranquilla, Col. p. 1-.
8. Wang, F., D. Smith and M. Eldin, Application of advanced oxidation methods for landfill leachate treatment – A review, *Environmental Eng. Sci.* 2: 413-427 (2003).
 9. Deng, Y., 2007a, Physical and oxidative removal of organics during Fenton treatment of mature municipal landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials.* 146. 334-340
 10. Deng, Y., 2007b, Physicochemical removal of organic contaminants in municipal landfill leachate. In: *Landfill Research Focus*. Editor: Ernest C. Lehmann pp. 5-26.
 11. Amokrane, A., Comel, C., & Veron, J., 1997, Landfill leachates pre-treatment by coagulation-flocculation. *Water Research.* 31(11). 2775-82.
 12. Monje, R. & Orta, de V., 2004, Removal and transformation of recalcitrant organic matter from stabilized saline landfill leachates by coagulation-ozonation coupling processes. *Water Research.* 38. 2359-2367.
 13. Renou, S., Givaudan, J., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P., 2008, Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials.* 150. 468-493.
 14. Aziz, H., Alias, S., Assari, F., y Adlan M., 2007, The use of alum, ferric chloride and ferrous sulphate as coagulants in removing suspended solids, color and COD from semiaerobic landfill leachate at controlled pH. *Waste Management & Research.* 25. 556-565.
 15. Zhang, H., Choi, H., & Huang, C., 2005, Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials.* B125. 166-174.

16. Primo, O., Rueda, A., Rivero, M., y Ortiz I., 2008, An Integrated process, Fenton reaction – ultrafiltration, for the treatment of landfill leachate: Pilot plant operation and analysis. *Ind. Engineering Chemical Research*. 47. 946-952.
17. Castillo, B., Salazar, G., Méndez, N., & Sauri, R., 2006, Remoción de metales pesados en el lixiviado de un relleno sanitario mediante un tratamiento fisicoquímico. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. pp. 1-12
18. Orta de V. and I. Monje, 2006 Combined Pre-Treatment of Coagulation-Ozonation for Saline-Stabilized Landfill Leachates. *Ozone: Science and Engineering*. 28: 309-316.
19. Cisneros, P., Ventura, C., Meza, G., Chávez, M., Colado, A., y Castañón, G., 2007, Composición fisicoquímica de los lixiviados generados en el basurero municipal de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Bol. Soc. Quím.* 1. 39-41.
20. Cabeza, A., A. Urtiaga, M. Rivero and I. Ortiz, 2007, Ammonium removal from landfill leachate by anodic oxidation, *J. Hazard. Mater.* 144. 715-719.
21. Lei, Y., Z. Shen, R. Huang and W. Wang, 2007, Treatment of landfill leachate by combined aged-refuse bioreactor and electrooxidation, *Water Res.* 41. 2417-2426.
22. Méndez, M., L. Novelo, P. Coronado, B. Castillo and R. Sauri, 2008, Remoción de materia orgánica y metales pesados de lixiviados por flotación con aire disuelto. [Removal of Organic Material and Heavy Metals from Leachates by means of Flotation with Dissolved Air] *Revista Ingeniería*. 12-1. 13-19
23. Nájera Aguilar, Escobar Castillejos y Vera Toledo, 2007, Diagnóstico ambiental de los SDF de RSU y de ME de las ciudades de Tuxtla Gu-

- tierrez y SCLC. Informe Técnico. PROY-C03-070, CHIS- 2005-CO-CyTECH.
24. Tatsi, A.A., A.I. Zouboulis, K.A. Matis and P. Samaras, 2003, Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates, *Chemosphere*, 53 (7), p.737-744.
 25. Rivas, F., F. Beltrán, F. Carvalho, B. Acedo and O. Gimeno, 2004, Stabilized leachate: sequential coagulation-flocculation+chemical oxidation process, *J. Hazard. Mater. B116*. 95-102
 26. Mariam, T. and L.D. Nghiem, 2010, Landfill leachate treatment using hybrid coagulation-nanofiltration processes. *Desalination*, 250 (2), 677-681
 27. O'Melia, CR., Becker, WC., Au, KK., 1999, Removal of humic substances by coagulation. *Water Science and Technology*. 40 (9). 47-54.
 28. Kim, S.M., S.U. Geissen and A. Vogelpohl, 1997, Landfill leachate treatment by a photoassisted fenton reaction, *Water Sci. Technol.*, 35 (4), 239-248
 29. Kim, J.S., H.Y. Kim, C.H. Won and J.G. Kim, 2001, Treatment of leachate produced in stabilized landfills by coagulation and Fenton oxidation process, *J. Chin. Inst. Chem. Eng.* 32 (5). 425-429
 30. Tang, W.Z. and C.P. Huang, 1996, 2,4-dichlorophenol oxidation kinetics by Fenton's reagent. *Environ. Technol.*, 17 (12), 1371-1378
 31. Kim, Y.K. and I.R. Huh (1997). Enhancing biological treatability of landfill leachate by chemical oxidation. *Environ. Eng. Sci.*, 14(1), 73-79

32. Mendez, R.I., E.R. Castillo, M.R. Sauri, C.A. Quintal, G. Giacoman and B. Jimenez, 2009, Comparación de cuatro tratamientos de lixiviados, *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25(3). 133-145
33. Lopez, A., M. Pagano, A. Volpe, A.C. Di Pinto, 2004, Fenton's pre-treatment of mature landfill leachate, *Chemosphere*, 54, 1005-1010
34. Qureshi, T.I., H.T. Kim and Y.J. Kim, 2002, UV-Catalytic Treatment of Municipal Solid-Waste Landfill Leachate with Hydrogen Peroxide and Ozone Oxidation, *Chin. J. Chem. Eng.* 10(4). 444-449
35. Yoon, J., S. Cho, Y. Cho and S. Kim, 1998, The characteristics of coagulation of Fenton reaction in the removal of landfill leachate organics, *Water Sci. Technol.* 38. 209-314

IV. Investigación de sensores optoelectrónicos para la medición del consumo de corriente eléctrica, en casas-habitación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez

Rubén Alejandro Vázquez Sánchez, Jorge Luis Camas Anzueto

Introducción

Los medidores que hoy en día tiene Comisión Federal de Electricidad (CFE) en una casa-habitación, son de difícil acceso en la toma de una lectura adecuada si la persona no tiene conocimiento de cómo funciona dicho medidor, y con ello, el propietario no tiene el control de la cantidad de corriente eléctrica que consume mensualmente ni el costo de la misma. Por ello, la demanda de corriente eléctrica en una casa no se visualiza de manera controlada y el consumo de corriente eléctrica no se aprovecha al máximo. Debido a esto, surge la idea de desarrollar dispositivos que midan el consumo de corriente eléctrica y que la lectura sea presentada de forma digital para que cualquier persona en una casa habitación tenga la facilidad de leer su consumo en KW-HR y el pago que debe hacer en ese momento. Con ello, se pretende que la persona que habite dicha casa, tenga conciencia de no consumir energía eléctrica de manera inadecuada y estar consciente del pago que debe de hacer ante CFE.

En este capítulo presentamos la investigación de dos estructuras de sensores optoelectrónicos para realizar dicho proceso: uno de ellos es un medidor digital de corriente eléctrica para el cual se describe paso a paso el procedimiento con el cual el circuito funciona a través de un

diagrama a bloques. Se analiza la ventaja ante los medidores convencionales que CFE (Comisión Federal de Electricidad) tiene instalados en una casa-habitación en México. En este diseño, toda la información es manejada o controlada por un microcontrolador PIC16F877. Este microcontrolador consta de un cristal externo como oscilador con una frecuencia de 4Mhz. El diseño presenta la información en una pantalla de cristal líquido (Liquid Crystal Display, LCD). Además, se utiliza una interrupción de luz como contador para cuantificar la corriente eléctrica de la casa-habitación. La segunda estructura propuesta consiste de un sistema láser de fibra óptica en el cual un dispositivo llamado rejilla de Bragg de fibra óptica esta adherido a un conductor de cobre por el que circula una corriente eléctrica. Al momento de aumentar el consumo de corriente eléctrica el conductor cambia en temperatura transfiriendo calor a la rejilla de Bragg y ésta a su vez modifica sus propiedades termo-ópticas dando lugar a una disminución gradual de la intensidad de salida del láser. La medición de la señal de salida del láser es una cuantificación de la corriente que se está consumiendo.

Marco teórico

Como todos sabemos, la electrónica es parte importante en el desarrollo de tecnología en el diseño de circuitos electrónicos para manipular a los electrones acorde a la aplicación del circuito. En el desarrollo de la primera estructura se debe tener conocimiento de la Electrónica Analógica la cual estudia la aplicación de circuitos electrónicos que interactúan con señales que son continuas en función del tiempo. La Electrónica Digital que trabaja con señales que tienen valores discretos, es decir, la representación digital asigna un número a una cantidad que varía en forma continua. Esta puede estar representada con números y a estos números se les llama niveles lógicos que están representados por ceros y unos lógicos (0, 1). También, debemos involucrar a la optoelectrónica que es la interacción de la electrónica con la óptica. La óptica estudia el comportamiento de la interacción de la luz con la materia y la electrónica viene a procesar toda la información de dicha interacción con técnicas adecuadas. Para la segunda estructura es necesario hablar

de un dispositivo de fibra óptica llamada rejilla de Bragg y sus propiedades importantes.

Señal analógica

La señal analógica es una señal que varía de forma continua a lo largo del tiempo. En general, las señales que representan una magnitud física (temperatura, luminosidad, humedad, etc.) son señales analógicas, pudiendo asumir un número infinito de valores entre sus límites mínimos y máximos. En la figura 1 se muestra el perfil típico de una señal analógica. Obsérvese que estas señales se definen para una sucesión continua de valores de la variable independiente.

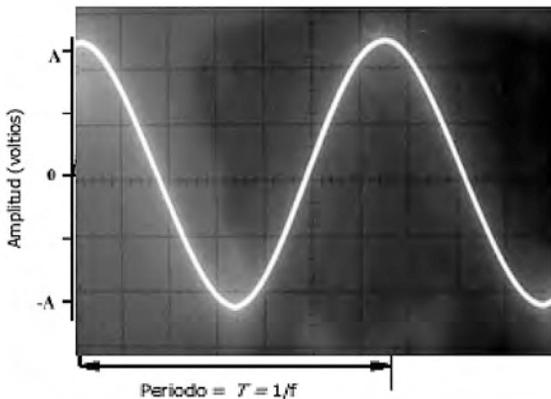


Figura 1. Ejemplo de una señal analógica

Señal digital

La palabra digital proviene de la misma fuente que la palabra digito: La palabra en latín para “dedo” (contar con los dedos), por el uso para contar en valores discretos y no continuos como en los sistemas analógicos. Los sistemas digitales, como por ejemplo un microcontrolador, usan lógica de dos estados representados por dos niveles de tensión eléctrica, uno alto, H y otro bajo, L (de High y Low, respectivamente, en inglés). Por abstracción, dichos estados se sustituyen por ceros y unos, lo que

facilita la aplicación de la lógica y la aritmética binaria. Si el nivel alto se representa por 1 y el bajo por 0, se habla de lógica positiva y en caso contrario de lógica negativa.

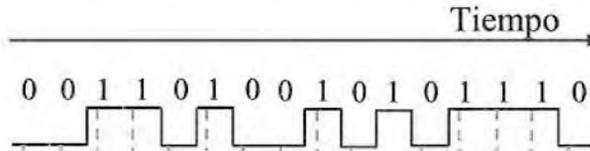


Figura 2. Ejemplo de una señal digital

Microcontrolador

Se denomina microcontrolador a un dispositivo programable capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos digitales y del control y comunicación digital de diferentes dispositivos.



Figura 3. Microcontrolador PIC16F877

Los microcontroladores poseen una memoria interna que almacena dos tipos de datos; las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones del microcontrolador.

Dentro de las funciones a realizar están las de leer, procesar y responder a la señal de entrada. Básicamente este elemento es el encargado de llevar el control en la medición de la energía eléctrica, ya que internamente y mediante la programación adecuada se leerán datos (provenientes de la etapa de digitalización) para procesarlos y así mandar una instrucción al puerto en donde se encuentra conectado un LCD, con el fin de enseñar un mensaje donde se especifique la cantidad de KW-HR

consumidos y la cantidad de efectivo a pagar por dicho consumo. También al término de cada mes, este dispositivo ejecutará la instrucción para almacenar los datos de consumo y costo en una memoria externa con la finalidad de tener un historial de la energía eléctrica utilizada anualmente.

En la siguiente tabla se pueden observar las características más relevantes del dispositivo:

Tabla 1. Características principales del microcontrolador PIC16F877

Características	16F877
Frecuencia máxima	0-20MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8KB
Posiciones RAM de datos	368
Posiciones EEPROM de datos	256
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones Serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Líneas de entrada de CAD de 10 bits	8
Arquitectura	Harvard
CPU	Risc
Canales Pwm	2

Conversión analógica – digital

Un ordenador o cualquier sistema de control basado en un microprocesador no pueden interpretar señales analógicas, ya que sólo utiliza señales digitales. Es necesario traducir, o transformar en señales binarias, lo que se denomina proceso de digitalización o conversión de señales analógicas a digitales.

Para realizar esta tarea, un convertidor A-D tiene que efectuar los siguientes procesos:



Figura 4. Señal analógica

La figura 5, representa a una señal eléctrica analógica, con sus correspondientes armónicos. Como se puede observar, los valores de variación de la tensión o voltaje en esta señal pueden variar en una escala que va de “0” a “7” volt.



Figura 5. Muestreo de una señal analógica

Para realizar el muestreo de una señal eléctrica analógica y convertirla después en digital, se necesita tomar valores discretos de tensión o voltaje a intervalos regulares en diferentes puntos de la señal, el siguiente paso es cuantificar dichos valores.

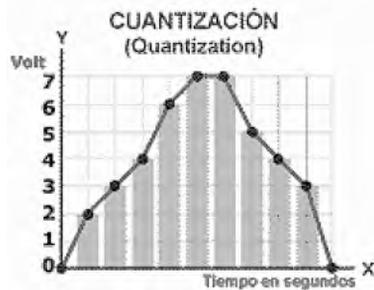


Figura 6. Cuantización del muestreo

Una señal cuyo muestreo se realice a 24 kHz tendrá menos calidad y fidelidad que otra realizada a 48 kHz. Por último la codificación permite asignarle valores numéricos binarios equivalentes a los valores de tensiones o voltajes que conforman la señal eléctrica analógica original.

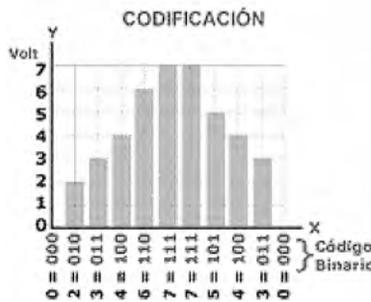


Figura 7. Codificación de la señal analógica

Optoelectrónica

La optoelectrónica constituye, sin duda, una de las materias científico-tecnológicas que más rápido crecimiento ha experimentado en los últimos años. La revolución en este campo se ha producido a partir de una fecha relativamente reciente. Así, prácticamente fue en la década de 1960 cuando se produce el desarrollo de estas tecnologías impulsadas por una serie de empresas punteras en el sector electrónico. Cabe mencionar que la herramienta principal de la optoelectrónica es la luz.

Luz

La luz (del latín lux, lucis) es la clase de energía electromagnética radiante capaz de ser percibida por el ojo humano. En un sentido más amplio, el término luz incluye el rango entero de radiación conocido como el espectro electromagnético. La ciencia que estudia las principales formas de producir luz, así como su control y aplicaciones se le llama Óptica (Rama de la Física).

Se ha demostrado teórica y experimentalmente que la luz tiene una velocidad finita. Actualmente el valor exacto aceptado para la velocidad de la luz en el vacío es de 299.792.458 m/s. La velocidad de la luz al propagarse a través de la materia es menor que a través del vacío y depende de las propiedades dieléctricas del medio y de la energía de la luz. La relación entre la velocidad de la luz en el vacío y en un medio se denomina índice de refracción del medio:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Donde c es la velocidad de la luz en el vacío, v es la velocidad de la luz en un medio, donde c y v están en (m/s), n es el índice de refracción.

Cuando un haz de luz incide en la superficie de un material, siempre hay una parte de luz que se esparce hacia atrás, y a este fenómeno se le denomina reflexión. Si hacemos un análisis desde el punto de vista de la óptica geométrica, la reflexión de la luz puede ser representada por medio de dos rayos: el que llega a una superficie, rayo incidente, y el que sale “rebotado” después de reflejarse, rayo reflejado, formando en la reflexión un ángulo de incidencia y reflexión, con respecto a una normal. El ángulo con el cual un rayo incide es igual al ángulo reflejado.

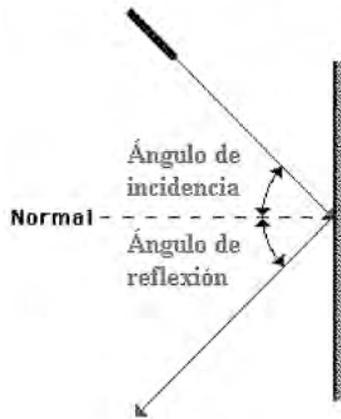


Figura 8. Reflexión de luz en una interfase.

La luz puede ser utilizada en muchas aplicaciones y una de ellas es en las comunicaciones ópticas, y la parte fundamental es ver la manera de manipular la luz para mandar información a grandes distancias. Debido a esto se debe comprender la naturaleza de la luz. La luz es el principal mecanismo por el cual podemos transmitir y recibir información de los objetos que nos rodean y de todo el universo. Una de las principales ventajas de la luz es la alta frecuencia que tiene (del orden de los Terahertz.). Tomando en cuenta lo anterior, la Optoelectrónica utiliza a la luz como el principal elemento que mediante variaciones ópticas se puede transportar información a través de un sistema. En un sistema de comunicación óptica se necesita de una fuente de luz (LED, Láser, etc), un medio de transmisión en donde la luz pueda propagarse con pérdidas bajas (espacio libre, fibra óptica) y de un fotodetector (PIN, o de avalancha) que tenga la capacidad de detectar las variaciones de la luz, ya sea en forma de pulsos o continuo. La Optoelectrónica ha alcanzado el carácter de disciplina científica, rápidamente se impone como una de las piedras angulares de la ingeniería moderna, ya que toma elementos de la Electrónica, Óptica, Electromagnetismo y la Ciencia de materiales. En su sentido más amplio, la Optoelectrónica significa la aplicación de la electrónica a sistemas ópticos. A grandes rasgos, un sistema Optoelectrónico se conforma de la existencia de una fuente de luz, de un detector y de algún medio

donde se pueda propagar la luz entre el transmisor y el receptor. A esto se añade la energía y el procesamiento de las señales de entrada y salida necesaria para completar los elementos básicos de un sistema optoelectrónico (figura 9).

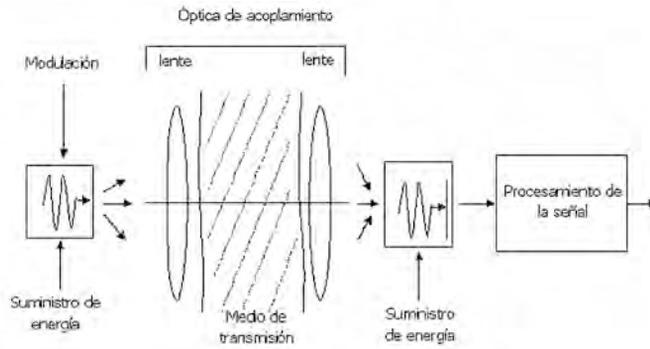


Figura 9. Elementos de un sistema optoelectrónico típico

En un sistema optoelectrónico, se necesita que la señal viaje en forma de luz, y para ello, el transmisor debe generar la señal y convertirla de energía eléctrica a energía luminosa y el receptor tiene la función de recibir energía luminosa y convertirla en energía eléctrica.

Fibra óptica

La fibra óptica es un sistema de transmisión de datos que se hace a través de un filamento de vidrio o plástico. La fibra óptica existe gracias al principio de reflexión total interna, ya que los rayos de luz dentro de la fibra van rebotando con las paredes externas del filamento. Dentro de sus ventajas se encuentra un gran ancho de banda, es inmune totalmente a las interferencias electromagnéticas, cables ligeros y muy pequeños (diámetro aproximado al de un cabello humano entre 50 a 125 micras), No inflamable y es flexible. Un cable de fibra óptica está compuesto de las siguientes partes:

Núcleo: es propiamente la fibra óptica, la hebra delgada de vidrio por donde viaja la luz.

Revestimiento: es una o más capas que rodean a la fibra óptica y están hechas de un material con un índice de refracción menor al de la fibra óptica.

Forro o recubrimiento: es un revestimiento de plástico que protege a la fibra y la capa media de la humedad y otros embates físicos.

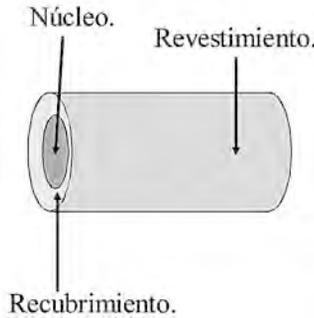


Figura 10. Estructura básica de una fibra óptica

Función a realizar: en principio, para la primer estructura, se utilizará un par de fibras ópticas con el fin de obtener una lectura del medidor convencional, dichas fibras se alinearan de tal manera que entre ellas exista un ángulo (θ) que permitirá la reflexión perfecta de la luz desde una de ellas hacia la otra (figura 11), pudiendo así tener el conteo de cada giro del medidor del hogar, sin embargo, la decisión de utilizar a la fibra óptica, va a depender de la factibilidad de alineación mecánica en función de la transmisión y recepción de luz.



Figura 11. Esquema de dos fibras, enviando y recibiendo señal

Dispositivo de visualización

Una pantalla de cristal líquido o LCD (acrónimo del inglés: Liquid Crystal Display) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora.

El LCD dispone de una matriz de 5x8 puntos para representar cada carácter. En total se pueden representar 256 caracteres diferentes. 240 caracteres están grabados dentro del LCD y representan las letras mayúsculas, minúsculas, signos de puntuación, números, etc. Existen 8 caracteres que pueden ser definidos por el usuario. El bus de datos del display se puede configurar para funcionar de dos formas diferentes. Bien como un bus de 8 bits o bien como un bus multiplexado de 4 bits. El utilizar el bus multiplexado de 4 bits es una opción muy útil para ahorrar bits en el sistema de control. La tensión nominal de alimentación es de 5V, con un consumo menor de 5mA.

Función a realizar: es el medio por el cual se dará a conocer al usuario el consumo de energía eléctrica y el costo aproximado que genera dicho consumo.



Figura 12. Pantalla de cristal líquido

Rejillas de Bragg

En la investigación de la segunda estructura optoelectrónica se utilizan dispositivos de fibras ópticas, destacando por su importancia las rejillas de Bragg, debido a ello se presenta una explicación a grandes rasgos de estos dispositivos. Algunas fibras cambian sus propiedades ópticas permanentemente cuando se exponen a una radiación intensa de un láser operando en la región espectral del azul o el ultravioleta. Este efecto

fotosensible lleva a un cambio periódico en el índice de refracción a lo largo de la longitud de la fibra, resultando en la formación de una rejilla de Bragg intra-núcleo cuando las fibras de Silicio dopadas con Germanio son irradiadas por unos pocos minutos con un haz láser intenso[12]. En su forma más simple, una rejilla de Bragg de fibra consiste de una modulación periódica del índice de refracción del núcleo de una fibra óptica, por lo general monomodo, como se ve en la figura 13. También se puede ver como un arreglo periódico de placas o películas de dos índices de refracción diferentes, denominados índice de refracción alto n_H (~ 1.4563) e índice de refracción bajo n_L (~ 1.456).

Estas estructuras uniformes de fibra, donde los frentes de onda son perpendiculares al eje longitudinal de la fibra y las placas de la rejilla son de periodo constante, son consideradas estructuras fundamentales para diferentes tipos de rejillas de Bragg.

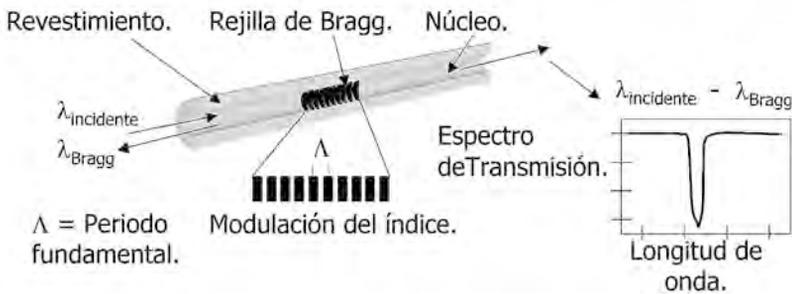


Figura 13. Estructura de una rejilla de Bragg de fibra óptica se muestra el espectro de transmisión y la modulación del índice de refracción.

La luz guiada a lo largo del núcleo de la fibra puede ser dispersada por cada placa de la rejilla. Si la condición de Bragg no se satisface, la luz reflejada por cada placa subsecuente, favorece para estar fuera de fase y puede eventualmente cancelarse.

Cuando la condición de Bragg se satisface, las contribuciones de luz reflejada por cada placa de la rejilla se adicionan constructivamente en la dirección hacia atrás formando un pico de reflexión centrado a la longitud de onda definida por los parámetros de la rejilla.

Una ecuación que nos da la longitud de onda reflejada con mayor intensidad por la rejilla es la siguiente.

$$\lambda_B = 2 n_{\text{eff}} \Lambda \quad (2)$$

Donde la longitud de onda de la rejilla de Bragg, λ_B , es la longitud de onda central de la luz de entrada que pueda ser reflejada por la rejilla, Λ es el periodo fundamental y n_{eff} es el índice de refracción promedio efectivo entre n_L y n_H .

Físicamente, un ensamble de películas delgadas que satisfaga la ecuación anterior dará lugar a una alta reflectancia a la longitud de onda especificada por esa ecuación debido a que los rayos reflejados por cada una de las interfases interfieren constructivamente en la superficie inicial.

Como una explicación simple, parte de la luz que incide sobre una rejilla se refleja y la otra parte se transmite, la rejilla de Bragg tiene una alta reflectancia debido a que las placas tienen un espesor óptico de $\lambda/4$ y por lo tanto los rayos que se van reflejando en cada superficie se encuentran en fase al salir de la primera interfase.

Las características interesantes que presenta este dispositivo hacen que tenga aplicación en las áreas de sensores y en telecomunicaciones. Si nos basamos en la ecuación 2, la longitud de onda de Bragg se modificará si el periodo o el índice de refracción efectivo de la rejilla se modifica. Una forma de actuar sobre el periodo de la rejilla es aumentando o disminuyendo su temperatura, o estirando o comprimiéndola. A partir de esto, las rejillas son sensibles a temperatura, tensión y presión. Como dato, una sensibilidad de 1.2 pm (picómetros) se espera para una rejilla centrada a una longitud de onda de Bragg de 1550 nm cuando se le aplica 1 $\mu\epsilon$ (micro tensión), además, una sensibilidad de 13.2 pm por cada $^\circ\text{C}$ de aumento de temperatura. En el campo de la medición o detección de gases o vapores, se necesita de un traductor entre el gas a medir y la rejilla de Bragg de forma tal que la medición afecte el periodo de la rejilla. Existen muchos tipos de rejillas de Bragg y todos tienen aplicaciones en sensores y telecomunicaciones, entre ellas se encuentran las rejillas inclinadas, las de periodo de espaciado

gradual, las rejillas superimpuestas, las cuales, como su nombre lo indica, varias rejillas ocupan el mismo espacio, pero existen las rejillas que tienen más sensibilidad y estas son las rejillas de periodo largo o rejillas de transmisión, las cuales, tienen una variación más grande del periodo. Una diferencia principal de estas rejillas en comparación con las rejillas de Bragg es que la longitud de onda de Bragg es de transmisión y no de reflexión como las anteriores. Las rejillas de periodo largo acoplan la longitud de onda de Bragg en el revestimiento y por ello es más fácil de aplicarlas en las estructuras de sensores de onda evanescente, ya que modificando el revestimiento en donde se acopla la longitud de onda de Bragg es posible modificar la longitud de onda de transmisión.

Diseño de un sistema optoelectrónico para medición de corriente eléctrica de una casa habitación

Introducción

Un medidor o wathhorímetro es un pequeño motor de inducción diseñado para medir energía eléctrica. El par en el medidor es producido por un electroimán llamado estator, el cual tiene dos juegos de devanados. Un devanado, llamado bobina de potencial, el otro devanado llamado bobina de corriente. Estas dos bobinas, están arregladas de tal manera que sus campos magnéticos producen una fuerza en el disco del medidor la cual es directamente proporcional a la potencia de la carga conectada. El número de Watt-horas medido por cada revolución del disco se le conoce como constante del medidor o K-h. Las revoluciones del disco son contadas y presentadas a través de engranajes apropiados como kilowatt-horas (kW-Hr) en el registro de wathhorímetro^[2]. La relación fundamental del wathhorímetro puede escribirse como: Waththoras = Revoluciones del disco x hora.

Existen medidores monofásicos y polifásicos (bifásicos y trifásicos). De acuerdo al consumo de potencia de las casas-habitación los wathhorímetros usados en ellas son los de tipo monofásico y bifásico^[3]. Los medidores tienen una estructura en la cual se indica el consumo de kilowatts de manera mecánica mediante engranes que mueven manecí-

Las similares a las de un reloj (figura 14), sabemos que en la actualidad el ser humano ha comenzado a digitalizar su entorno, por lo que es necesario establecer sistemas de control e instrumentación que vayan a la par de la tecnología que se demanda hoy en día, es por ello que en este trabajo se da una alternativa para cambiar la presentación del consumo de corriente a una forma digital, además de incrementar la información presentada, como lo es el pago por los kW-Hr y el consumo de aparatos específicos. En este trabajo se presenta un medidor digital de corriente que proporciona una lectura de una persona con mayor facilidad que en un medidor que CFE tiene en cada casa-habitación (figura 14). En este diseño se cuenta con un microcontrolador que con una programación adecuada, es capaz de realizar diferentes actividades que requiera un sistema digital y de control^[4-5]. Para la presentación de la información se dispone de una LCD, el cual es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos y se pueden representar 256 caracteres diferentes^[6]. La confiabilidad de este diseño es considerablemente buena presentando información de consumo en kW-Hr, manejable y entendible para cualquier usuario, desarrollando un sistema de procesamiento de datos de entrada y teniendo un control para visualizar la información de interés.

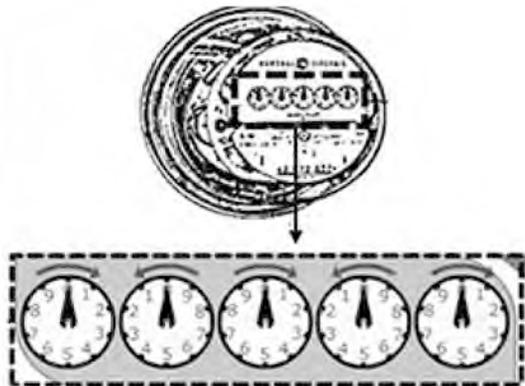


Figura 14. Manecillas del medidor común

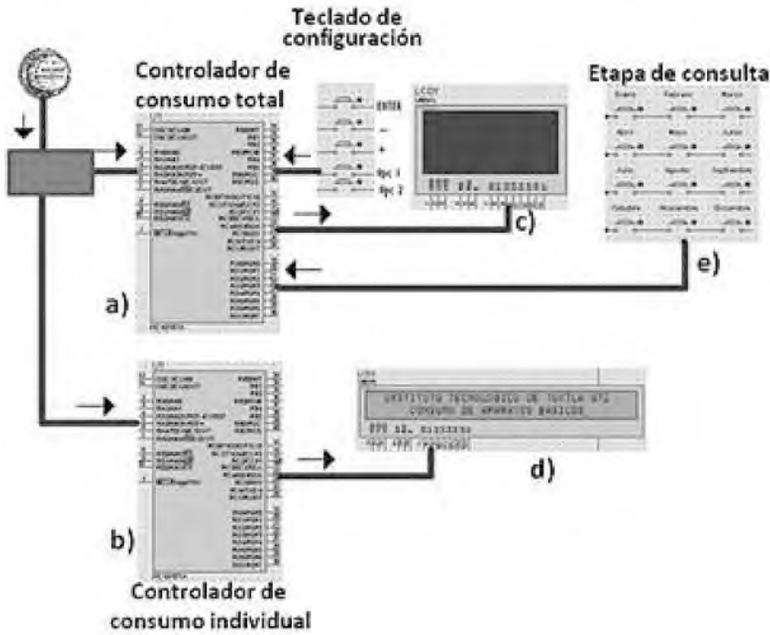


Figura 15. Esquema del diseño optoelectrónico propuesto

Descripción del sistema optoelectrónico

El diseño de este proyecto consiste en calcular el consumo de los Kilo-watts-Hora a partir del número de vueltas del disco que se encuentra dentro del medidor de CFE, teniendo en cuenta que éste puede ser monofásico o bifásico. En principio, para detectar el giro del disco se utiliza un diodo emisor infrarrojo y un fototransistor. La luz enviada hacia al disco es reflejada por el mismo hacia el fototransistor. El disco cuenta con una línea oscura de aproximadamente 2 mm de espesor. De acuerdo a la ley de Reflexión, el fototransistor debe estar al mismo ángulo de inclinación a la cual se encuentra el emisor para que haya una buena recepción. El disco gira y siempre está reflejando luz, sin embargo, la línea oscura absorberá luz y en ese momento habrá un conteo de revoluciones a la cual el disco gira. Teniendo cuantificadas el número de vueltas del disco en un lapso de tiempo se procede a determinar el con-

sumo y pago a realizar, lo anterior lo determina un microcontrolador previamente programado, al mismo tiempo un segundo microcontrolador se encarga de cuantificar el consumo de corriente de dispositivos comunes en una casa habitación de manera individual. Los resultados se despliegan en una pantalla LCD. En la figura 15 se muestra un diagrama general del diseño propuesto, indicando la etapa optoelectrónica, la cual proporciona la señal de entrada para los dos microcontroladores. También se muestra cada controlador y sus respectivas entradas y salidas, así como los dispositivos de visualización LCD. El microcontrolador es programado con un lenguaje de alto nivel (mikro c) debido a la facilidad en su compilación.

Control del sistema

Como en todo sistema, es necesario tener un control de cada una de las entradas y salidas. En el diseño propuesto, el control lo hacen un par de microcontroladores PIC16F877, ya que este PIC tiene una variedad de puertos, además, soporta hasta 20 Mhz de frecuencia Máxima. Internamente contiene una memoria RAM y una EEprom[5]. Cada uno de ellos realiza diferentes acciones en el sistema, el primero se encarga de presentar el consumo total de la casa-habitación y el segundo muestra el consumo de corriente de manera individual de cada dispositivo electrónico común que se utiliza en una casa habitación.

Controlador de consumo total

En la figura 15a se muestra el primer controlador que es el encargado de contar vía software el número de vueltas que el disco del medidor realiza a través de la activación de una de sus terminales provocada por la señal emitida desde la etapa optoelectrónica, con éste conteo se realizan operaciones matemáticas para determinar el consumo en Kilowatts-Hora y la cuota que se deberá de cubrir, imprimiendo los resultados cada hora en una LCD de 4 x 16 (Fila x Columna) que se observa en la figura 15c. Al término de cada mes, tiene la tarea de almacenar los datos dentro de la memoria interna EEprom, por último reali-

za la función de consulta, la cual se puede llevar a cabo en el momento que se desee. Cabe mencionar que antes de iniciar con el proceso antes mencionado, se debe de acceder a un menú de configuración, en donde la primera parte consta de la actualización de la fecha y hora de instalación. En forma de submenú se encuentra el apartado para seleccionar el tipo de medidor (Monofásico o Bifásico), posteriormente se selecciona al programa principal, en donde se visualiza el consumo de kW-Hr y cuota descritos en el primer párrafo.

Controlador de consumo de aparatos

En la figura 15b se encuentra el segundo controlador que es el encargado de determinar el consumo de los aparatos básicos en una casa habitación (refrigerador, plancha, televisor, lavadora, computadora), a través de la medición del tiempo que tarda el disco del medidor en dar una vuelta. En base a una serie de datos almacenados en el microcontrolador, se puede relacionar el tiempo transcurrido por vuelta y así determinar el consumo del o los aparatos. Mandando los datos obtenidos en kW-Hr a un LCD de 2 x 40 (Fila x Columna) que se observa en la parte d de la figura 15

Resultados

Para poder realizar experimentos acorde a la etapa optoelectrónica independiente del medidor de CFE, se diseñó un prototipo que simula las vueltas del medidor original (figura 16) en el cual se encuentra el diodo emisor infrarrojo y un fototransistor alineado de tal forma que en el disco existe un orificio en el cual la luz pasa hacia el fotodetector. Cada vez que la luz llega al fotodetector, se genera una fotocorriente logrando que se genere un voltaje positivo. Este voltaje es enviado al PIC16f877 como un pulso para su procesamiento, interpretándolo como un conteo de una vuelta. El sistema se inicializa con un menú principal (figura 17a). Seleccionando la opción deseada a partir de los botones de opcl u opc2 (figura 15, etapa Switch de configuración). Al seleccionar la opción 2, todos los datos y variables del programa se inicializarán. Al

seleccionar la opción 1 de inicio, se tiene acceso a la parte de configuración de fecha y hora de instalación (figura 17b), utilizando los botones de incremento y decremento se pueden establecer los valores exactos, pasando de un rubro a otro con el botón enter. Al finalizar la configuración y pulsar el botón enter, se tiene acceso a otro menú (figura 17c), en el cual se configura el tipo de medidor que la casa habitación tiene instalado, utilizando los botones de opción 1 o 2. Después de que se ha elegido el tipo de medidor, automáticamente se entra al programa principal (figura 17d), en el cual se ilustra el consumo en Kilowatt – hora y la cuota a cubrir. La actualización de los datos en LCD se realiza cada lapso de 1 hr y al término de cada mes. El sistema almacena el consumo total en una memoria EEprom que se encuentra integrada al microcontrolador, además, las variables con los valores se inicializan. Lo anterior se ejecuta mientras se seleccione la opción medidor con el switch de modo. Cuando el switch se activa en la opción lectura, el sistema se detiene y espera que se seleccione el mes que se desea consultar, utilizando los botones que indican el mes (figura 18) e imprimiendo en la LCD el valor almacenado en la memoria interna EEprom. Al término de la consulta deberá de seleccionarse nuevamente la opción medidor, para seguir con el funcionamiento principal.

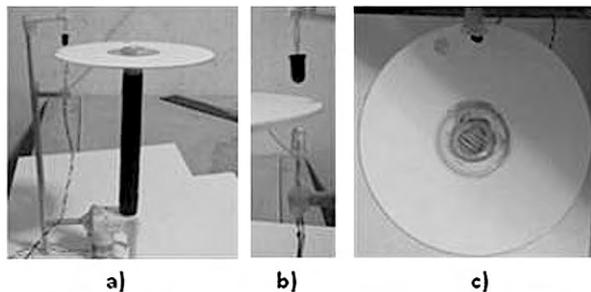


Figura 16. Prototipo que simula al disco giratorio de un medidor convencional de CFE

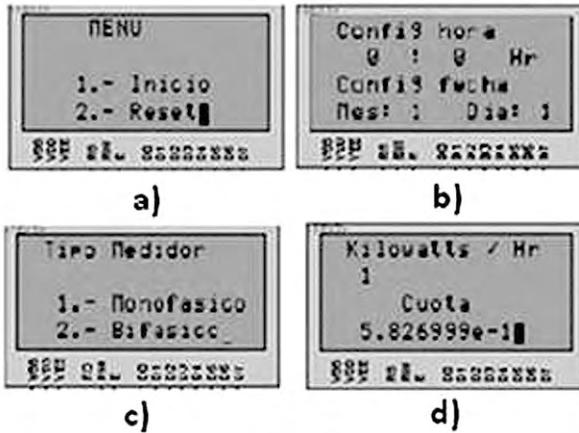


Figura 17. Secuencia de configuración

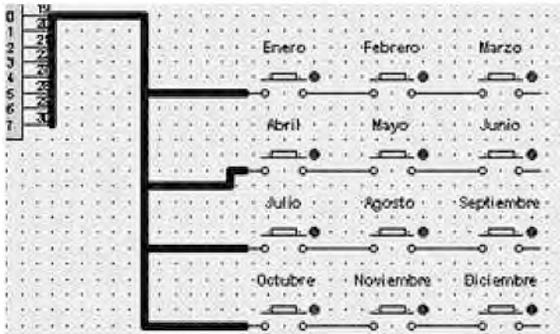


Figura 18. Tablero para seleccionar el mes a consultar

La etapa del segundo controlador, inicia con una referencia del proyecto en la pantalla LCD durante 5 seg (figura 19a). Después de dicho tiempo se imprimen los dispositivos electrónicos que el medidor cuantificará individualmente (figura 19b). Cada vez que se detecta una vuelta, se incrementa un contador vía software, y al detectar otro giro, el controlador determina el tiempo que el disco demoró en realizar la vuelta, dependiendo de los tiempos, se imprime en LCD el consumo de los aparatos (figura 19c).

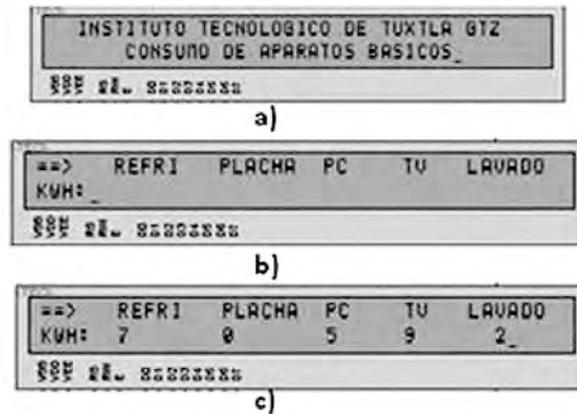


Figura 19. Secuencia de visualización del consumo de corriente de dispositivos electrónicos de forma individual

Conclusiones

Se ha diseñado un dispositivo digital optoelectrónico, en el cual la lectura del consumo de corriente eléctrica de una casa-habitación es mucho más rápida y fácil de obtener por un usuario, teniendo consigo ventaja sobre los medidores convencionales de CFE. En este medidor, un usuario puede tener el control de cuanta corriente eléctrica que consume mensualmente y el costo de la misma, y así controlar el consumo de energía eléctrica de manera adecuada. La parte de control de consumo total es aplicable a cualquier casa-habitación que se requiera. Cabe mencionar que el control de consumo de aparatos eléctricos se ve afectado dependiendo del tipo de centro de carga que se utilice en la casa-habitación. El problema se resuelve llevando a cabo un estudio del comportamiento del centro de carga y reprogramando el microcontrolador. En general este diseño puede ser de gran utilidad en el ahorro de energía eléctrica.

Construcción y caracterización de un sensor de fibra óptica con rejillas de Bragg para aplicación en la medición del consumo de energía eléctrica

Introducción

Las rejillas de Bragg de fibra óptica son dispositivos que se forman cuando un patrón de interferencia es grabado en una fibra óptica fotosensible. Este patrón de interferencia modifica el índice de refracción del núcleo de la fibra induciéndole una modulación. Este fenómeno fotosensible en fibras ópticas descubierto desde hace más de tres décadas ha apoyado fuertemente la tecnología de las telecomunicaciones, así como la de sensores. Las propiedades que presentan estos dispositivos así formados son diversas e ideales para un amplio rango de aplicaciones, motivo por lo cual han sido tema de muchas investigaciones. En sistemas de telecomunicación, las rejillas de Bragg son utilizadas para filtrar, dispersar, estabilizar diodos láser en longitud de onda, para aplanar el perfil de ganancia de un amplificador de fibra dopada con Erblio, etc., y muchas aplicaciones más, evitando con esto la utilización de elementos ópticos voluminosos disminuyendo las no deseadas pérdidas de energía. En los láseres de fibra, las rejillas son utilizadas como espejos con un medio activo, fibra dopada con Erblio, entre ellas. En la tecnología de sensores de fibra óptica basados en rejillas de Bragg, las rejillas funcionan como elementos sensores de temperatura y tensión. El principio básico comúnmente utilizado en estos sistemas es el de monitorear el desplazamiento de la longitud de onda de Bragg reflejada por la rejilla con los cambios estimulados por algún parámetro físico (tensión, temperatura, presión)^[7-10]. De esta forma, la medición queda codificada en términos de la longitud de onda, parámetro que no es afectado por cambios en la intensidad de la radiación, característica que hace útiles a estos sensores en mediciones remotas y, aunado a propiedades de la fibra óptica, estos sensores pueden ser aplicados en ambientes altamente corrosivos, de difícil acceso, en donde existe interferencia electromagnética, ambientes en donde los sensores eléctricos no funcionarían.

En este trabajo se aprovecha una de las características que tienen las rejillas de Bragg cuando son sometidas a cambios de temperatura en su estructura física. Esta característica es que la longitud de onda central de la rejilla se cambia de acuerdo a la cantidad de temperatura aplicada. Un cambio de $13.7 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ es esperado para rejillas centradas alrededor de una longitud de onda de 1550 nm ^[8], y para rejillas cercanas a 1530 nm , por cada $100 \text{ }^\circ\text{C}$ de aumento de temperatura, la longitud de onda central de la rejilla se desplazará aproximadamente 1 nm ^[11].

Desarrollo experimental

El primer paso fue el de construir el sistema óptico tratando de que fuera lo más sencillo posible para evitar, más que nada, el aumento del costo así como la complejidad.

El sistema propuesto es el mostrado en la figura 20. Un tramo de 10 metros de fibra óptica dopada con erbio se empalma por fusión a una rejilla de Bragg R1 que tiene una longitud de onda central de 1550 nm . Esto último significa que la rejilla R1 sólo reflejará luz que tenga la misma longitud de onda que la rejilla. Uno de los puertos de un acoplador por división de longitud de onda (WDM) se empalma a la punta libre de la fibra dopada. El acoplador WDM se utiliza para introducir al sistema la luz de un diodo láser de semiconductor que sirve para bombear a la fibra dopada. Como puede observarse, un puerto del WDM queda libre y los otros tres son utilizados. El puerto que es paralelo al puerto en donde se introduce la luz de bombeo, se empalma con uno de los puertos (S1) de un acoplador divisor 90/10 el cual sirve para monitorear las señales que genera el láser. Otro de los puertos del divisor 90/10 se empalma con la otra rejilla de Bragg R2 que tiene una longitud de onda central de 1550 nm , igual a R1, significando que la luz que se propague en la fibra y que coincida con esta longitud de onda, será reflejada por la rejilla R2.

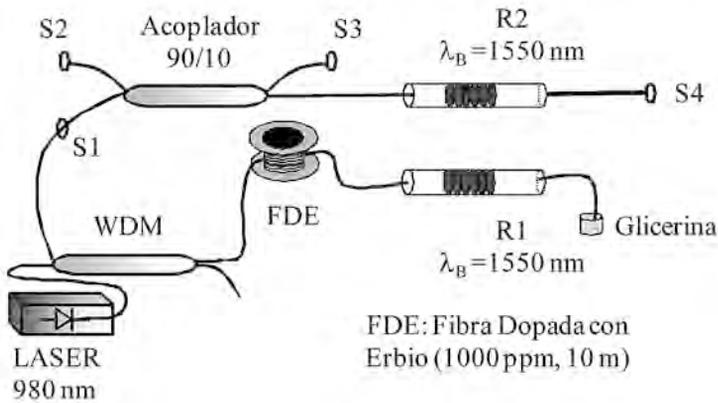


Figura 20. Sistema óptico propuesto que muestra un sensor láser de fibra formado por dos rejillas de Bragg y un medio amplificador

La relación 90/10 del acoplador divisor significa que si en el punto S1 se tiene un 100% de intensidad de señal óptica, en la terminal S3 se tendrá un 10% y el otro 90% seguirá la ruta hacia la rejilla de Bragg R2. De igual forma, de la luz que es reflejada por la rejilla R2 sólo el 10% del total de intensidad será detectada en S2, el 90% restante seguirá hacia el WDM. La punta libre de una de las rejillas (R1) es inmersa en glicerina, el cual es un líquido que acopla el índice de refracción de la fibra con el del aire, evitando con esto que exista luz que se refleje hacia la rejilla y degrade el funcionamiento del sistema. En la terminal libre (S4) de R2 fue colocado un medidor de potencia óptica con un ancho de banda de sensibilidad de 800 a 1650 nm. Esto significa que todas las señales ópticas que se encuentren dentro de este rango pueden detectarse. En esta terminal se monitorea los cambios que tiene la emisión láser. La rejilla R2 fue sujeta a un conductor eléctrico de cobre de calibre 16 por donde circula una corriente eléctrica variable. A medida que la corriente aumenta, genera un aumento de temperatura en el conductor, lo cual modifica la longitud de onda de Bragg de R2, disminuyendo la emisión láser.

Resultados

Para aumentar la corriente en el conductor, se utilizó un arreglo en paralelo de varias resistencias, las cuales fueron conectadas de forma secuencial, obteniendo una corriente gradual desde 5 a 23 Amperes. Bajo condiciones normales de temperatura, la rejilla R2 (sensor) tiene la misma longitud de onda de Bragg que la rejilla R1 (referencia), generando la emisión láser. Cuando se aumenta gradualmente la corriente en el conductor, existe un aumento de temperatura en el mismo y por lo tanto también en la rejilla R2. Esto hace que la emisión láser tenga una disminución gradual de su potencia.

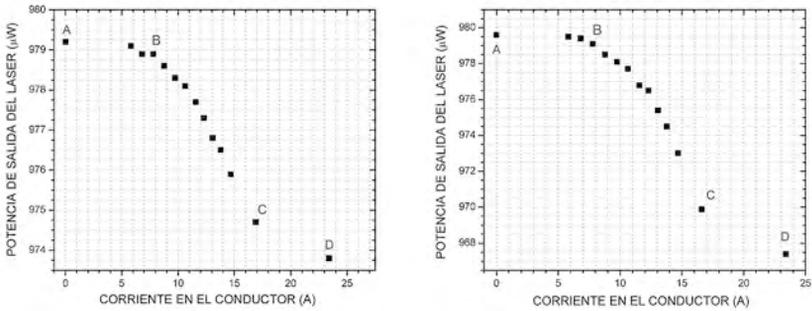


Figura 21. Corriente en el conductor en amperes vs potencia de salida del láser en μW . Se observa una disminución lineal de la potencia del láser a medida que la corriente aumenta en el conductor

Como se dijo anteriormente, la corriente genera un incremento en la temperatura del conductor, por lo tanto, esta temperatura es el transductor entre la corriente eléctrica y la potencia de salida del láser. En la figura 21 se observa dos graficas en las cuales se refleja que a medida que la corriente aumenta, la potencia del láser disminuye. Se tiene tres intervalos de trabajo. El intervalo de A-B muestra un aumento de la corriente en el conductor desde 0 hasta 8 Amperes, lo cual genera una disminución muy poco notable en la potencia del láser. El intervalo B-C presenta una disminución lineal muy notable de la potencia del láser a

medida que la corriente aumenta. El intervalo C-D sucede cuando se aumenta la corriente desde 16 hasta 23 Amperes y no se puede decir si es lineal o no, debido a que no se tienen caracterizaciones.

El régimen de trabajo para este sistema específico “sensor láser-conductor” está en el intervalo B-C, en donde se tiene un comportamiento lineal. El conductor eléctrico utilizado en este experimento tiene una longitud de 25 cm con un calibre 16. Es de esperarse que cambiando el calibre y la longitud se modifiquen los datos observado en las graficas, debido a la dilatación volumétrica del material lo cual modifica la resistencia. Por ejemplo, si utilizamos un conductor de calibre 14, se necesita una mayor corriente para aumentarle la temperatura.

En la continuación con este trabajo, se piensa utilizar conductores de características diferentes para definir el óptimo tal que amplíe el régimen de trabajo “sensor láser-conductor”.

Conclusiones

Se presentó una forma de medir la corriente en un conductor eléctrico, a través del monitoreo de la temperatura del mismo utilizando un sensor láser de fibra óptica. La aplicación inmediata es en la determinación del consumo de energía eléctrica, siempre y cuando se determine el sistema óptimo “sensor láser-conductor”. Esto es, definiendo un conductor que nos genere cambios notables de su temperatura al paso de una corriente eléctrica en intervalos específicos. Debido a que se utiliza fibra óptica es posible realizar sistemas remotos de medición, e incluso, sistemas de sensores multipunto aumentando el número de cavidades láser en un solo sistema.

Referencias Bibliográficas

1. Carlos Manuel García Lara, 2010, *Estudios Ambientales y Riesgos Naturales. Aportaciones al Sureste de México II*, Editorial UNICACH, Cap. 6, Pp. 188.
2. CFE, s. f., “Calibración y prueba de wathhorimetro”, capítulo 12, en *Manual de CFE*, México.
3. CFE, s. f., “Medición de energía para ingenieros, El wathhorímetro de inducción”, en *Manual de CFE*, México.
4. Jose Ma. Angulo Usategui, Susana Romero Yesa, Ignacio Angulo Martínez, s. f., *Microcontroladores PIC: diseño práctico de aplicaciones*, Ed. MC GrawHill, s. l.
5. Roger L. Tohkheim, s. f., *Electrónica digital*, ed. Reverte S. A., s. l.
6. Fredrick J. Hill & Gerald R. Peterson, s. f., *Digital logic and microprocessors*, ed. Hill Peterson, s. l.
7. Alan D. Kersey, M. A. Davis, H. J. Patrick, *et al.*, 1997, “Fiber grating sensors”, en *Journal of Lightwave Technology*, 15, pp. 1442-1452.
8. A. Othonos, K. Kalli, 1999, *Fiber Bragg gratings; fundamentals and applications in telecommunications and sensing*. cap. 1, Artech House, Inc, s. l.

9. M. May Alarcón, E. A. Kuzin, R. Vázquez Sánchez, 2002, “Sensor láser de fibra óptica con una cavidad de 8.6 km formada por dos rejillas de Bragg usadas como espejos”. en *Revista Mexicana de Física*. 48, pp. 434-437.
10. R. A. Vázquez Sánchez, E. A. Kuzin, M. May Alarcón, 2004, “Láser de fibra óptica compuesto por dos cavidades acopladas: aplicación como sensor de fibra óptica”. *Revista Mexicana de Física*. 54, pp. 374-368.
11. R. A. Vázquez-Sánchez, 2004, *Sensor láser con rejillas de Bragg interrogado por la medición de la frecuencia de batido intermodal*, Tesis de Doctorado, Cap. II, INAOE, p. 20.

V. Vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe en Tuxtla Gutiérrez

Raúl González Herrera, Juan Carlos Mora Chaparro

Introducción

El sureste mexicano es una región que está constituida por zonas de alto grado de marginación, con construcciones tradicionales, que en muchos de los casos han sido elaboradas sin contar con proyectos arquitectónicos o estructurales; además de omitir la supervisión técnica y el control de calidad. Estas viviendas son un laboratorio que nos permite observar las prácticas tradicionales que durante mucho tiempo han mostrado un comportamiento adecuado y otras que han fallado, pero que se continúan repitiendo.

Otro factor importante a considerar es el alto peligro sísmico que se presenta en el sureste de la República Mexicana, como quedó ejemplificado por los daños generados por los sismos de 1995 en Chiapas ^[1], en Guerrero en 1995 ^[2] y en 1999 en Oaxaca ^[3]. Estos eventos vuelven a recordarnos la necesidad de realizar estudios de peligro en la zona, y la importancia de que las estructuras se diseñen de acuerdo a normas y reglamentos basados en las características regionales y también, que estos sistemas sean concebidos y supervisados por profesionales de la construcción.

En este capítulo se señalan las características que hacen vulnerables a las viviendas de adobe regionales para las ciudades de Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo, las cuales constituyen una muestra representativa

de las construidas en otras ciudades de Chiapas y parte fundamental de las construcciones en centros históricos en zonas urbanas y áreas rurales. Se presenta la evaluación de la vulnerabilidad desde el punto de vista cualitativo, con apoyo de una revisión de la literatura y análisis de estudios específicos realizados para la región, y cuantitativo, apoyado en métodos simplificados propuestos por distintos especialistas del tema y en un trabajo de campo a lo largo de las ciudades señaladas.

Ante la vulnerabilidad sísmica evidente de estos sistemas constructivos en Chiapas y su presencia en los centros históricos de las ciudades y áreas rurales, se presentan una serie de alternativas de reparación y/o reforzamiento estudiadas hasta la fecha en distintos centros de investigación en nuestro país y el extranjero. Además, se hace un análisis cualitativo de las alternativas consideradas adecuadas para la región en función del peligro sísmico y de las características de sus construcciones típicas de adobe.

La vivienda de adobe en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

El comportamiento de las estructuras construidas con adobe sin refuerzo o con refuerzo estructural deficiente ha sido muy pobre durante eventos sísmicos moderados e intensos. A pesar de que este sistema constructivo se conoce cada día mejor, incluso se ha llegado a una caracterización y propuesta de diseño y refuerzo por integridad que garantiza un comportamiento más estable que puede llegar a ser dúctil, un porcentaje muy bajo de estos proyectos se hacen respetando un código o norma constructiva. Tampoco se emplea una supervisión técnica, ni los materiales adecuados, menos aún se comienza a construir partiendo de un proyecto ejecutivo que considera lo estructural como parte integral. [4]

Este pobre comportamiento queda de manifiesto cuando se presentan fenómenos naturales como huracanes que traen lluvias intensas y permiten las inundaciones, así como los sismos. Estas construcciones de adobe en distintos países del mundo han mostrado por lo general un comportamiento estructural inadecuado, deterioro significativo en sus propiedades mecánicas (lo que redundaría en reducción del tiempo

de vida de la estructura) y en algunos casos el colapso parcial o total de la misma, aunado en algunas de las ocasiones en pérdidas de vidas y pérdidas económicas. [5]

En el sureste mexicano por tradición y economía se ha continuado construyendo con adobe. Hasta finales del siglo XIX se entendía su uso masivo por ser el único sistema estructural que por las características de la región era factible de ser empleado. En la actualidad, la pobreza, la tradición y la costumbre lo han mantenido en uso más allá de sus importantes cualidades aislantes: térmicas, acústicas, ambientales y estéticas.

Existen pocos reglamentos que se refieran a las viviendas de adobe en lo particular, aunque hay algunas normativas internacionales interesantes para México como el *Código Nacional de Construcciones de Perú* y el *Código de Construcciones de Adobe de Nuevo México*. En México no hay regulaciones específicas para las construcciones de adobe, no obstante las construcciones elaboradas con este material corresponden a un poco más del 12.0% de las censadas en México hasta el año 1985 [4]. Aunque en la mayoría de las regiones del país ha disminuido su uso, hay otras en las que se mantiene el porcentaje, tal es el caso del estado de Chiapas, Oaxaca y Guerrero, como se muestra en la figura 1, donde con color gris intenso se muestran los cinco estados donde ha crecido el inventario de estructuras con este material.



Figura 1. Mapa de la República Mexicana donde se muestra el comportamiento del empleo de viviendas de adobe en la actualidad [4]

En la figura anterior se resaltan los casos de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, los cuales son buenos ejemplos, ya que estos tres estados se ubican en la región con mayor peligro sísmico del país y cuentan con un importante grupo de viviendas de adobe que corresponden al 34.77%, 26.69% y 17.12%, respectivamente. Incluso, en algunas de las localidades rurales de estos tres estados, las construcciones con adobe alcanzan hasta el 90% del total de las construcciones existentes. [4]

En el estado de Chiapas las construcciones de adobe presentan patologías muy específicas, que son determinadas por la falta de recursos económicos y por la falta de conocimiento de materiales y sistemas constructivos de los propietarios, quienes son casi siempre los constructores. Estas patologías no sólo aparecen durante el proceso de construcción, sino que irremediablemente se traducen en errores durante la reparación de la misma, para la cual se emplean materiales no compatibles con el sistema o en el peor de los casos con materiales de la misma vivienda que se desprenden durante un evento. Para los casos más críticos, las mantienen sin reparar deteriorándose rápidamente o solamente se “maquillan” las fallas en la fachada con cubiertas de ladrillo o con repellos y pintura.

De acuerdo con el análisis de los datos de censos de población y vivienda del año 2005 [6], se determina que mientras el número de construcciones de adobe en las zonas rurales va aumentando, en los centros históricos urbanos de Chiapas disminuye, ya que muchas de las viviendas de adobe son demolidas para cambiar el sistema constructivo por mampostería tradicional y para hacer construcción vertical (con mayor número de niveles), ya que el valor del terreno es mayor. Aunado al intemperismo, el paso del tiempo y los sismos, son factores que han hecho que su número vaya en declive, como se puede ver en las fotografías de la figura 2, donde se presenta la demolición de una vivienda de adobe de dos niveles en el centro histórico de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, para la construcción de un edificio con estructura metálica, y la demolición en el año 2006 de otra vivienda de adobe para la construcción de locales comerciales.



Figura 2. Demolición en los años 2007 y 2006 de dos viviendas con dos y un niveles respectivamente, con estructuras de adobe, ubicadas en el centro histórico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Este fenómeno de decrecimiento de viviendas de adobe en las ciudades no es un fenómeno apreciado en el medio cultural, entre los historiadores, arquitectos y/o restauradores, pero es un fenómeno que se incrementa en las ciudades con fundación reciente o con escaso protección a sus monumentos históricos. Prácticamente todos estos elementos se conjuntaron en las viviendas de adobe de Tuxtla Gutiérrez y en ciertas zonas de ciudades con imagen colonial, como el caso de Chiapa de Corzo. En Tuxtla Gutiérrez se encontraron sólo 28 cons-

trucciones de adobe en 589 estructuras censadas en el primer cuadro de la ciudad [7] y procesadas [8] y cerca de 109 de las mil 500 censadas [9] donde adicionalmente encontró 21 sistemas constructivos en Tuxtla Gutiérrez, considerando las combinaciones de materiales de losas o cubiertas y muros (ver figura 3).

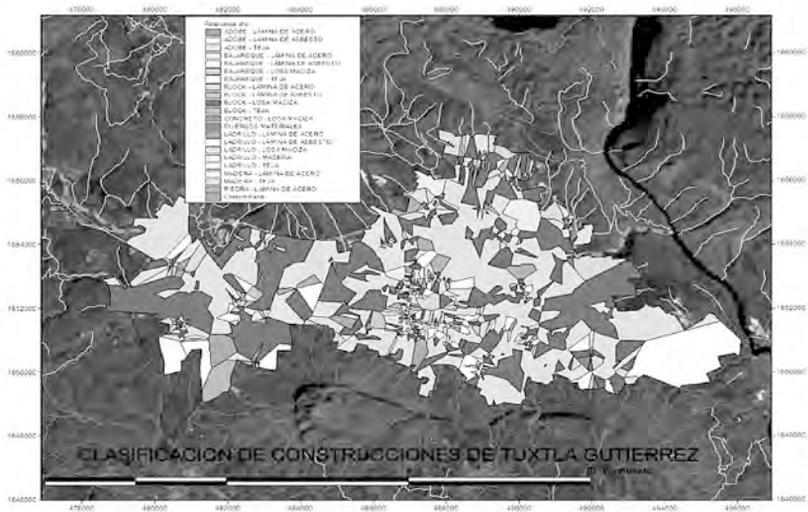


Figura 3. Clasificación de construcciones de Tuxtla Gutiérrez, según sistemas constructivos para cubiertas y para muros. [9]

Proyecto arquitectónico

Tras los levantamientos realizados en el centro histórico de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez [7, 9], podemos definir la configuración típica de las construcciones de adobe, como viviendas de sección rectangular con área de entre 50 y 100 m² por nivel, de uno o dos niveles, carentes en la mayoría de los casos de muros divisorios estructurales (muros internos que dividen los espacios) y cuentan con uno o dos cuartos, siendo la altura entre 3 y 4 m promedio por nivel, espesores de muro de 40 a 60 cm y sin cadenas o castillos de refuerzo estructural o tan sólo con algunas vigas de madera en los cerramientos. Las cubiertas son pesadas a

dos aguas con techumbre a base de vigas de madera y teja de barro, con pendiente entre 25 y 50% y cimentación superficial constituida a base de muros corridos de mampostería de piezas naturales (rocas medianas a pequeñas).

Materiales

De lo reportado por distintos análisis experimentales de las piezas típicas de adobe en distintas regiones de México, en la literatura internacional y lo desarrollado localmente ^[10], podemos caracterizar al adobe en lo general como un material con nula capacidad a tensión y flexión, con adherencia entre las piezas limitada por el mortero de pega (generalmente a base de lodo con cal) y con una contracción por secado muy alta debida a la humedad propia del material -contiene aproximadamente 40% de arcilla-, lo que se puede mejorar con un buen proceso de secado y tras la incorporación de paja (como refuerzo por tensión).

En la figura 4, se muestra gráficamente la variación de las propiedades mecánicas promedio del adobe en estado natural en once muestras representativas, a partir de pruebas realizadas con piezas de adobes jóvenes en varias regiones del Estado de México, de acuerdo con el estudio realizado ^[4] a piezas y muretes construidos con este tipo de material.

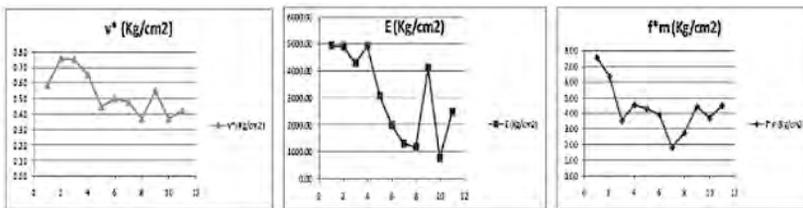


Figura 4. (a) Variación de la resistencia al corte de las piezas de adobe, (b) Variación del módulo elástico y (c) Variación de la resistencia a compresión del conjunto adobe con mortero. Gráficas elaboradas con los estudios ^[4].

Como se observó en las gráficas anteriores, existe una gran dispersión en las propiedades índice del material. La cual se comprueba con los rangos de los datos que dieron origen a las gráficas:

- Resistencia a compresión f^*m , desde 1.81 y hasta 7.57 Kg/cm².
- Módulo elástico E, desde 760 y hasta 49,430 Kg/cm².
- Resistencia a corte v^* , desde 0.37 y hasta 0.76 Kg/cm².

Aunado a la poca resistencia mecánica inicial, el adobe es un material hidrófilo, con lo cual tiende a absorber la humedad atmosférica, lo que hace que el material termine perdiendo resistencia a los esfuerzos con el paso del tiempo, ya que la humedad reblandece las piezas y hace que se pierda adherencia entre las partículas que lo conforman y hace al sistema más frágil.

En las regiones comprendidas en los trópicos, donde es muy frecuente el uso de este material, es muy común que después de lluvias prolongadas por varios días, algunos muros de viviendas construidas con adobe se desplomen sin intervención de ninguna otra fuerza.

Se estudiaron adobes procedentes de comunidades en los alrededores de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, de los cuales se probaron 10 piezas a Flexión (ver figura 5), 10 piezas a Compresión (ver figura 6) y 30 en pilas a compresión de tres piezas cada una (ver figura 7). Los resultados son similares a los desarrollados en el Estado de México. ^[10]

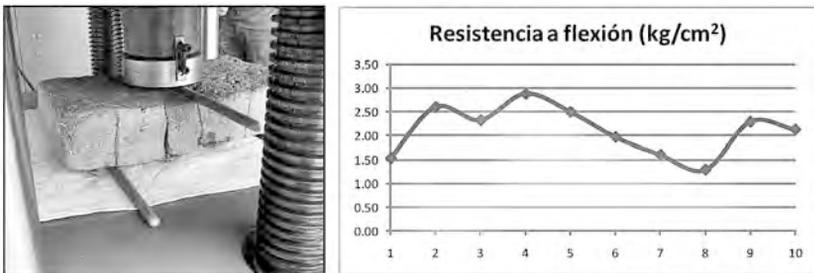


Figura 5. Pieza de adobe sometida a flexión por la prensa universal de la UNACH y el comportamiento del lote de adobes estudiados. ^[10]

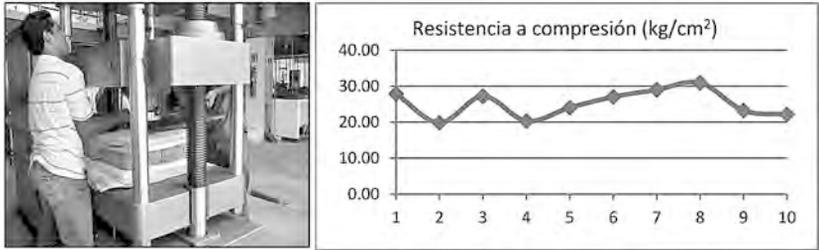


Figura 6. Montaje y prueba de los especímenes de adobe en la prensa universal de la UNACH, adobe sometido a compresión. ^[10]

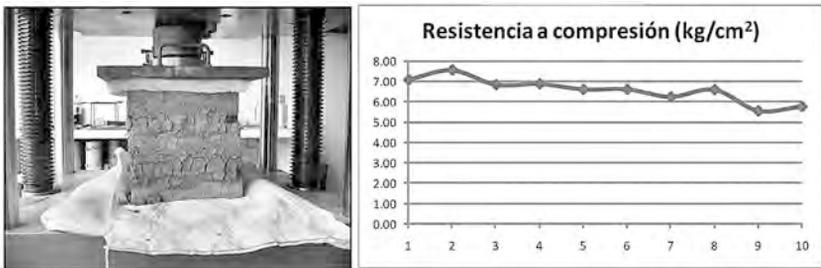


Figura 7. Montaje y prueba de las pilas de adobe en la prensa universal de la UNACH sometidas a compresión. ^[10]

Consideraciones ambientales del sistema constructivo

Las construcciones más antiguas que emplearon este material tienen más de 8,000 años y se encuentran en Asia, África y América ^[11], lo que se debe más a la abundancia del material en la región, y al confort que dota este material a las construcciones que se ubican en zonas con clima cálido, que al sistema constructivo por sí mismo.

Existen tendencias del tipo ambientalista que intentan mantener el uso del adobe como material de construcción, argumentando que la cantidad de energía y contaminación asociada con el proceso de elaboración del adobe es muy pequeña comparada con otros materiales y depende de los agregados de la zona, la variación climática y la estación del año. Si comparamos lo que se necesita para fabricar un ladrillo de barro recocido promedio, los valores son mucho menores, hasta 15 veces que aquellos para construir un ladrillo (2,000 BTU para el adobe

contra 30,000 BTU para el ladrillo de barro recocido). Adicionalmente, existen ahorros en el traslado del material, debidos a que éste es local.

Como parte de esta corriente revitalizadora del material, podemos señalar que actualmente se encuentran disponibles en el mercado adobes conocidos como semiestabilizados, los cuales son básicamente similares a los tradicionales, pero se les agrega un nuevo componente: asfalto emulsionado (subproducto del petróleo), que los dota de un color más oscuro. Básicamente las propiedades mecánicas no cambian, pero dependiendo de la proporción, se obtiene un ladrillo de adobe medianamente resistente al agua, lo que mejora su resistencia con el tiempo. Hay también algunas variantes como el adoblock que fue empleado en la construcción de la ciudad rural Juan del Grijalva.

Esta solución no les agrada a algunos arquitectos porque el material pierde algunas de las propiedades de confort. Tampoco es popular con los ambientalistas, por las consecuencias directas e indirectas que implica este cambio de producción en el ambiente. No obstante los cambios que se han hecho en el material, no existen estudios específicos que los ratifiquen en sus propiedades mecánicas, por lo cual no se consideran pertinentes para su empleo en zonas sísmicas. ^[12]

Sistema estructural

El sistema estructural que se emplea para la construcción con adobe en general presenta dificultades de vinculación entre los elementos de cimentación y cubierta con los muros transversales y longitudinales, en parte debido al espesor de éstos y en otra por las propiedades del material como su pobre adherencia. Aún con estas características, algunos profesionistas de la práctica e investigadores de materiales tradicionales insisten en que se debe lograr con este material un sistema estructural que cumpla con la filosofía del diseño sismoresistente actual, lo cual he de señalar es una misión casi imposible, por la necesidad de alcanzar altos niveles de ductilidad e integridad estructural que hasta el momento ninguna de las alternativas propuestas alcanza de manera significativa en eventos sísmicos medianamente importantes.

Otra característica importante de las estructuras de adobe que debe considerarse en su diseño, es su reducido rango de comportamiento elástico, por lo que prácticamente todas las deformaciones que sufren no se recobran, y los esfuerzos que se requieren para deformarlas son muy bajos. Adicionalmente, la degradación de rigidez del sistema por las deformaciones es detonante de una falla frágil del sistema, ya que los agrietamientos de las piezas reducen ostensiblemente su resistencia, rigidez y capacidad de deformación.

Considerando lo anteriormente expuesto se puede intuir que las construcciones de adobe que han subsistido a través del tiempo en las zonas sísmicas, de manera general cumplen con muros de espesor considerable (ver figura 8), para que de esta manera no fuera rebasada la poca capacidad para tomar esfuerzos de corte que tiene el sistema desde 0.37 a 0.76 Kg/cm² [4] y de 5.5 y 7.6 Kg/cm² [10]. Adicionalmente, la masividad del sistema le permitió resistir por gravedad la posibilidad del volcamiento por fuerzas de viento y la pérdida de resistencia por el intemperismo.



Figura 8. Construcción típica de adobe en el centro histórico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas con espesor considerable de los muros, la cubierta es pesada, falta de mantenimiento y algunas reparaciones hechas con tabique de barro e incrustaciones de elementos de concreto.

En la actualidad se continúa empleando prácticamente el mismo sistema constructivo y estructural de adobe, pero debido al elevado costo de los terrenos se quiere aprovechar al máximo el área de éstos, por lo que se reducen los espesores y densidades de muros como si se tratara

de sistemas de mampostería de tabique de barro recocido o block de concreto. Sin embargo, el adobe como conjunto estructural presenta un valor cercano al 10% de la capacidad a compresión y corte de las piezas que conforman los sistemas estructurales a los que se quieren imitar (tabique o block confinados) con adobe.

Además, hoy en día las construcciones de adobe también tienen irregularidades por la configuración en planta (plantas alargadas) y por la falta de muros repartidos regularmente en ambas direcciones, con el fin de disminuir los efectos de torsión. Cabe resaltar que la relación de aspecto de la planta (razón entre el largo y el ancho) influye significativamente en la respuesta estructural, ya que la señal sísmica inducida en uno de los extremos respecto al otro induce deformaciones diferenciales; las diferencias son mayores entre más alargada sea la planta. En la figura 9 se observa que entre más alargada es la planta arquitectónica, los esfuerzos se concentran y maximizan en las esquinas y la participación del resto de los muros perimetrales del lado largo de la planta es menor. Entre más alargada es la planta se aporta más masa inercial, fenómeno que es común en estructuras de iglesias donde termina por desprenderse el frontis.

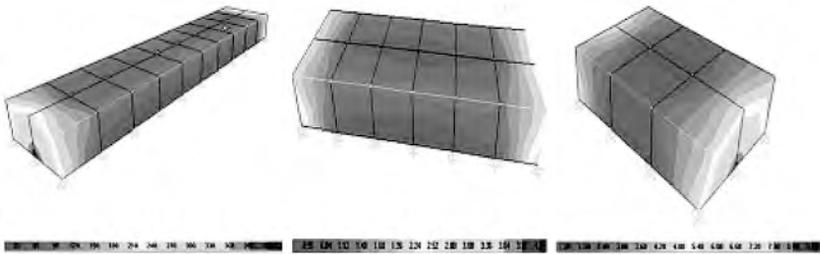


Figura 9. Plantas típicas de construcciones de adobe con distintas relaciones de aspecto (1:5, 1:3 y 1:1.5, respectivamente). ^[13]

En la figura 10 se muestran resultados ^[13], donde se aprecia cómo se reduce la capacidad de desplazamiento y rotación en plantas alargadas de estructuras, en este caso de adobe (aunque se reduce para todo tipo de plantas, pero no en la misma proporción). Los resultados de las gráficas para las distintas relaciones están normalizados respecto

a plantas arquitectónicas cuadradas (con relación largo ancho 1:1). La capacidad de desplazamiento se reduce hasta un 50% y la de rotación hasta en un 80%.

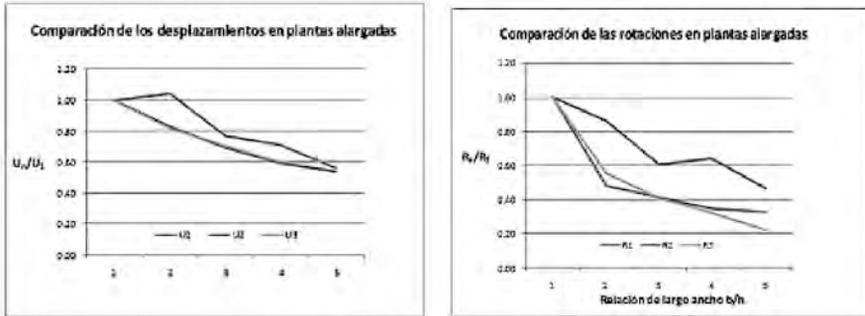


Figura 10. En las gráficas se muestra como se reducen las capacidades de desplazamiento y rotación para estructuras de adobe con relaciones largo ancho desde 1:1 hasta 1:5. [13]

Otro fenómeno que hace vulnerables a las viviendas de adobe se detalla en una investigación [14], donde se estudia la importancia del comportamiento del diafragma de las viviendas típicas de Chiapa de Corzo (comunes a las construidas en Tuxtla Gutiérrez). En este trabajo se propone, tras un análisis probabilístico, reforzar los diafragmas flexibles de madera con tensores metálicos atornillados, para integrar el diafragma flexible que actualmente se construye. Tras el refuerzo según los modelos del estudio [14], se disminuiría su vulnerabilidad notablemente. En la figura 11 se muestra en una fotografía el esquema básico de las cubiertas de madera y teja en las viviendas de adobe típicas, las cuales son pesadas y trabajan como diafragma flexible.



Figura 11. Cubierta con armaduras de madera y teja de barro típica de viviendas de adobe de Chiapa de Corzo y Tuxtla Gutiérrez. [14]

Un modo de falla observado en viviendas de adobe sometidas a acciones sísmicas ha sido la falla de muros fuera del plano, la cual no necesariamente tiene que ver con la densidad de muros, sino con su capacidad individual. Dicha capacidad se incrementa mediante dos factores: el primero consiste en la colocación de muros perpendiculares a la dirección de análisis con separación menor al espesor de la vivienda o menor a 4 m [13], y el segundo consiste en mejorar la conectividad entre los muros, principalmente en sus cruces.

En el estudio [14], se calibraron los modelos analíticos con los resultados de un análisis de vibración ambiental. Dentro de las características dinámicas del sistema constructivo en viviendas del Centro histórico de Tuxtla Gutiérrez, se destaca que son estructuras muy rígidas, donde el período para estructuras de una planta está entre 0.10 y 0.15 seg y de dos plantas entre 0.20 y 0.25 seg.

Experiencia en construcciones de adobe en sismos recientes

Según las páginas históricas del estado de Chiapas, [15 y 40] señalan se han presentado varios sismos en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez que han provocado pánico en la población y en algunos casos daños importantes, los cuales se relacionan a continuación:

El 23 de septiembre de 1902 un sismo subductivo con magnitud de 7.7 e intensidades de hasta X en la ciudad capital se presentó, alcanzando daños muy importantes y generalizados según los reportes de la época.

En el año 1914, un terremoto de 7.5 de magnitud y IX de intensidad de Mercalli modificada sacudió a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, asustando a la población.

El 14 de diciembre de 1935, un terremoto sacude al municipio de Tuxtla Gutiérrez (magnitud 7.3 e intensidad VIII), mismo que ocasiona grandes daños materiales.

El 17 de enero de 1955 se dejó sentir un fuerte temblor en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez con una magnitud de 5.7 e intensidad de V.

El día primero de marzo de 1965, se presentó un fuerte temblor con una magnitud de 6.4 e intensidad de VI.

La experiencia del comportamiento y daños de sistemas estructurales en Chiapas por acción de sismos, ha sido registrada en pocas publicaciones oficiales, principalmente en trabajos hechos por universidades y centros de investigación del interior del país. Una de las más importantes es la que describe la percepción de un grupo de investigadores del Instituto de Ingeniería de la UNAM sobre las consecuencias en las construcciones de adobe en Chiapa de Corzo por los enjambres sísmicos (grupos de sismos) de baja magnitud, durante la construcción del sistema de las cuatro presas ^[6]. En este reporte el doctor Roberto Meli señala que los daños presentes en las construcciones de adobe eran muy importantes, pero más debidos a la mala calidad de los materiales y construcción, que por la frecuencia y magnitud de los sismos que se presentaron entre julio y octubre de 1975. No obstante lo anterior, un grupo importante de la sismicidad cortical de la región ha sido atribuido a la construcción de las presas a finales de los años setenta y al llenado de las cortinas por presión de poro. ^[7]

El sismo instrumentado más importante para el estado de Chiapas es el sismo de Villaflores del 20 de octubre de 1995, con magnitud $M_b=6.5$, una profundidad focal de 165 Km y un área de ruptura de 30 por 10 Km ^[1]. Para estudiar los efectos de este sismo se juntó un grupo de investigadores de la UNACH, UAM y UAEM, quienes hicieron un

levantamiento de los daños ocurridos en Villaflores, Chiapa de Corzo y Tuxtla Gutiérrez, sin embargo nunca se publicaron oficialmente sus conclusiones. En la figura 12 se muestran algunos de los daños, los cuales son similares a los presentados en otros sismos nacionales e internacionales para construcciones de adobe.



Figura 12. Daños en estructuras de adobe en el sismo del 20 de octubre de 1995 en Villaflores, Chiapas. ^[18]

El sismo del 20 de octubre de 1995 en Tuxtla Gutiérrez ocasionó cuarteaduras de edificios y casas habitación, la caída de bardas y pánico en la población. En la figura 13 se colocan en un mapa las cerca de 130 estructuras que sufrieron diferentes niveles de daños, lo cual, permite observar el efecto de sitio en la zona centro de la ciudad.

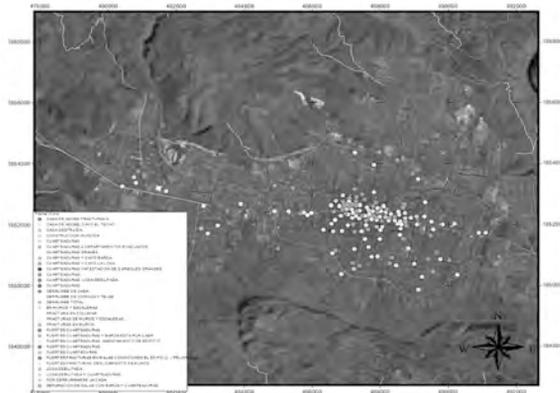


Figura 13. Concentración de daños en Tuxtla Gutiérrez tras el sismo del 20 de octubre de 1995.

Debido a la escasa información de daños sísmicos ocurridos en el estado de Chiapas y como referencia para el presente capítulo sobre el comportamiento de viviendas de adobe en el sureste mexicano sujetas efectos sísmicos, se relacionan seis eventos sísmicos recientes que dañaron estructuras de mampostería en los estados de Colima, Puebla, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Estos eventos se describen en los párrafos siguientes.

El 14 de septiembre de 1995 en las costas de Guerrero (sismo de Ometepec) se presentó un sismo de magnitud $M_s=7.2$, que afectó a un importante grupo de viviendas ^[2]. La mayoría de las fallas fueron verticales en las uniones de esquinas de muros por flexión fuera del plano, originadas por el empuje de la techumbre y la falta de unión entre los elementos longitudinales y transversales. Adicionalmente, se presentaron numerosas grietas en las aberturas de puertas y ventanas debidas a la falta de confinamiento. El 9 de octubre de 1995 ocurrió un sismo en Manzanillo, Colima de magnitud $M_s=7.3$, para el que se reportaron fallas similares a las descritas anteriormente.

El 11 de enero de 1997, teniendo como epicentro las costas de Michoacán, se presentó el escenario más caótico para este tipo de construcciones. En la población de Caleta de Campos sólo el 1.0% de las construcciones no sufrió daño; mientras que el 99% restante sí, el 74% de éstas permitía reparación y el 26% colapsaron o económicamente eran irreparables ^[19]. La magnitud del registro y de los daños evidenció el efecto del tipo de fallamiento que origina el sismo, con subducción intraplaca y niveles muy altos de riesgo sísmico. ^[20]

El 15 de junio de 1999, teniendo como epicentro a la ciudad de Tehuacán, Puebla, un sismo de magnitud $M_w=7.0$, dejó grandes daños en la zona, entre ellos un importante grupo de edificios religiosos de los siglos XVI y XVII y viviendas (ver figura 14). Las fallas que se presentan son coincidentes con las de otros sismos, con varios colapsos en las cubiertas de las iglesias por los desplazamientos de los muros de soporte y del frontis respecto a la estructura; la gran mayoría de las construcciones eran de adobe.



Figura 14. Iglesia de la Señora de los Remedios en el estado de Puebla dañada de manera importante por el sismo de Tehuacán en 1999 ^[4].

El 30 de septiembre de 1999 en las costas de Oaxaca se presentó un sismo con magnitud $M_w=7.4$, el cual provocó daños en un importante grupo de viviendas costeras rurales (41,000). Tan sólo, en San Pedro Tuctepec, zona costera cerca del epicentro, 3 mil viviendas colapsaron y 3 mil 200 tuvieron cierto nivel importante de daño. También se registraron distintos tipos de daños en las viviendas de adobe, tales como agrietamientos verticales y por flexión debida a muros fuera de su plano y el empuje de la techumbre, como se reportó en los eventos anteriores y como puede observarse en las fotografías de la figura 15. ^[3 y 20]



Figura 15. Vivienda rural de adobe dañada por sismo 30 de septiembre de 1999. ^[3]

El sismo dañino más reciente ocurrido en la República Mexicana es el sismo del 21 de enero del 2003, donde en la región costera del estado de Colima se presentó un fuerte temblor con una magnitud de $M_w=7.6$. El mayor índice de daños se registró en los estados de Colima, Jalisco y Michoacán. Cerca de la región epicentral se presentaron deslizamien-

tos de tierra y fenómenos de licuación, en la zona costera se produjeron asentamientos importantes y grietas en el terreno. Hubo 15 mil viviendas de mampostería dañadas ligeramente y un 20% con daño severo^[4 21 y 22], como se observa en las tres fotografías de la figura 16, que muestran daños en viviendas de mampostería sin refuerzo o con refuerzo inadecuado y adobe.



Figura 16. Colapso de estructuras de mampostería no reforzada y adobe, que adicionalmente presentan irregularidades.^[21 y 22]

Descripción de fallas típicas en construcciones de adobe en eventos sísmicos en México

Por la experiencia obtenida en los sismos brevemente descritos en la sección anterior, se concluye que las fallas presentes a través del tiempo siguen siendo recurrentes. Es decir, que la experiencia obtenida y documentada sigue confirmando la vulnerabilidad de la práctica constructiva de estructuras de adobe tradicional, aun cuando se han generado documentos de investigación y publicaciones, no ha perneado en los constructores de estas viviendas, ya que según los datos producto de los censos de población y vivienda más del 95% de las viviendas elaboradas con adobe son producto de autoconstrucción (ver figura 17).

Los errores constructivos y estructurales (carencia de un proyecto estructural y nula supervisión técnica) identificados en la literatura y trabajos de campo, tanto en el estado de Chiapas como en otras regiones del país y del mundo son:

- Mala calidad en general del material empleado, mostrando diferencias muy importantes de resistencias entre las piezas.

- El agrietamiento vertical en las esquinas que redonda en la separación de los muros en las dos direcciones ortogonales por la falta de liga.
- La falta de elementos de confinamiento en los huecos de puertas y ventanas, que produce fisuras en las esquinas.
- Colapso de elementos construidos en voladizo, como balcones y marquesinas, debido a falta de un correcto anclaje y por la irregularidad que inducen al sistema.
- Agrietamiento diagonal en los muros por falta de elementos transversales que brinden ductilidad al sistema.
- Agrietamientos longitudinales en los muros debidos a la falta de adherencia entre las piezas e hiladas y la nula resistencia a tensión del material.
- Falta de conectividad entre los sistemas de cubierta y cimentación respecto a los muros en ambas direcciones y tanto interior como exterior, lo que se manifiesta en grietas longitudinales entre la cubierta o la cimentación y las primeras y últimas hiladas.
- Asentamientos diferenciales debidos al peso de la construcción y subdiseño de la cimentación, que se identifican por fisuras diagonales.
- Humedades excesivas que degradan al material con pérdida de resistencia de muros por la falta de protección al intemperismo.
- Cubiertas pesadas que producen empujes laterales a los muros longitudinales y presiones puntuales en la zona de apoyo de las armaduras o vigas de madera, que se identifican por fisuras verticales en zonas de descarga de armadura y fisuras por flexión en muros por empuje lateral.
- Falta de mantenimiento y protección que redonda en una pérdida generalizada de resistencia a todo tipo de esfuerzos, incluso al peso propio.



Figura 17. Patologías típicas en viviendas de adobe en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: poco mantenimiento del sistema, mala calidad del material, falta de recubrimiento y protección de muros y peso excesivo en cubierta.

Análisis cualitativo y cuantitativo de vulnerabilidad de sistemas constructivos de adobe

Cuando se evalúa la vulnerabilidad sísmica de edificaciones individuales, es necesario un estudio detallado que permita conocer la susceptibilidad de la edificación de experimentar un determinado nivel de daño, para un movimiento específico. Por tanto, la acción sísmica y el daño sísmico constituyen los elementos fundamentales para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica.

Cuando buscamos calificar la vulnerabilidad sísmica que presentan las construcciones, contamos con diferentes metodologías, las cuales se utilizan tanto en términos relativos (clases e índices de vulnerabilidad), como en términos absolutos (matrices de probabilidad de daño, funciones de vulnerabilidad y curvas de fragilidad). Las clases e índices de vulnerabilidad califican de manera relativa la mayor o menor tendencia de una estructura a sufrir daño, pueden emplear las experiencias de sismos pasados y lo reportado en la literatura. Las matrices de probabilidad de daño (MPD), funciones de vulnerabilidad y curvas de fragilidad estiman de manera directa los daños esperados para los diversos niveles de la acción sísmica, mediante el uso de relaciones explícitas. ^[13]

Si se aplica sobre una misma estructura cada una de las metodologías que a continuación serán descritas, puede dar origen a muchas diferencias en los resultados, difíciles de interpretar y en algunos casos puede dar ori-

gen a conclusiones erróneas. Por tanto, se recomienda combinar los métodos analíticos y empíricos, con algún método o técnica experimental que permita incrementar la confiabilidad del análisis de vulnerabilidad.^[23]

El resultado de un estudio de vulnerabilidad sísmica está condicionado a la manera en cómo se haga la descripción del daño y del movimiento sísmico; la relación entre estos dos parámetros suele formularse discretamente con el desarrollo de funciones propias que reflejen los aspectos constructivos y culturales representativos de cada región. Estas pueden obtenerse analíticamente a partir de la vulnerabilidad calculada, con la simulación de la respuesta sísmica de estructuras de un mismo tipo, o con la observación de los daños causados en las estructuras por sismos, cuyo estudio estadístico define la vulnerabilidad observada^[24]. Las técnicas de evaluación de la vulnerabilidad dependen principalmente de los siguientes factores:

- Objetivo del estudio
- Información disponible
- Características del elemento que se pretende estudiar
- Metodología de evaluación empleada para evaluar el riesgo
- Resultado esperado
- Destinatario de la información

Metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica en México

En México hay pocas metodologías propias para el estudio de la vulnerabilidad y generalmente se emplean metodologías tomadas de algunas europeas o norteamericanas. En la Universidad Autónoma Metropolitana se ha empleado una variante de la metodología escalar MSK-92 (Escala Macrosísmica Europea) para la colonia Roma del Distrito Federal, ya que tras los sismos de septiembre de 1985 se cuenta con suficiente información de daños, sistema constructivo y características generales del inmueble^[25] y para la ciudad de Chilpancingo, Guerrero. En la tabla 1 se muestra la clasificación de los sistemas constructivos que considera la metodología empleada para asignarles clases de vulnerabilidad que van desde la A (más vulnerable) y F (menos vulnerable).

Tabla 1. Clasificación de los tipos de construcción en las clases de vulnerabilidad según la escala MSK-92

Tipos de Construcción	Clases de Vulnerabilidad					
	A	B	C	D	E	F
a. Adobe. Tapial. Mampostería de piedra unida con barro. b. Tabiquería de madera rellena de adobe. c. Mampostería de piedra unida con mortero de cemento con techo ligero. d. Mampostería de ladrillo o bloques sin refuerzos. e. Mampostería de ladrillo sin refuerzo con piso de hormigón armado. f. Mampostería confinada de ladrillo. g. Madera.		
h. Concreto reforzado sin diseño sísmico (construidos entre 1900 y 1930). i. Concreto reforzado con nivel mínimo de diseño sísmico (construidos entre 1930 y 1963). j. Concreto reforzado con nivel moderado de diseño sísmico (construidos entre 1963 y 1980). k. Concreto reforzado con nivel alto de diseño sísmico (construidos entre 1980 a la fecha).				.	.	.

De acuerdo con la tabla 1, las estructuras de adobe y las de mampostería sin refuerzo, en ese orden, son las más vulnerables cualitativamente respecto a la clasificación de las distintas estructuras que se consideran en la metodología MSK-92, ya que ambas ocupan la clase de vulnerabilidad A. La metodología anterior cualitativamente nos da idea de la vulnerabilidad del sistema, pero si cada rango correspondiera al mismo valor, al ser seis las clases, entonces, las estructuras de adobe serían seis veces más vulnerables que las estructuras de concreto reforzado con alto diseño sísmico, construidas para alcanzar un comportamiento dúctil de acuerdo con las filosofías recientes del diseño sísmico.

El CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres) propuso e identificó la vulnerabilidad de las construcciones de cada uno de los estados de la República Mexicana. En una primera instancia, sólo considerando el material con el que están edificadas (ver figura 18), con este estudio se ubica al estado de Chiapas como el segundo en canti-

dad de viviendas elaboradas con materiales vulnerables, entre ellos se encuentra el adobe, información que se obtuvo de las estadísticas de los censos de población y vivienda del INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia) de los años 1990 y 2000.

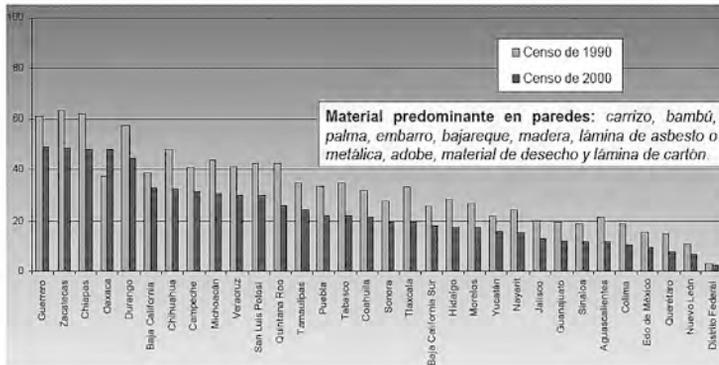


Figura 18. Comparativo de la distribución porcentual de viviendas que fueron consideradas vulnerables de acuerdo a la información proporcionada por el INEGI en los censos de los años 1990 y 2000. [26]

Las Naciones Unidas a través de UNDR0 (United Nations Disaster Relief Organization) ofrecen un método de observación y comparación de efecto de los sismos según su intensidad según el orden siguiente:

A. Escala de Intensidades:

- Grado VI: grietas en el suelo y en los muros.
- Grado VII: las carreteras se agrietan, hay derrumbes y aludes.
- Grado VIII: caen algunos edificios, hay corrimientos de tierras.
- Grado IX: resultan los puentes dañados, las presas, los diques, los muelles.
- Grado X: se tuercen las líneas de ferrocarriles, hendiduras en la tierra hasta de un metro.

B. Clasificación de los edificios

- Casas de adobe, de tierra apisonada, casas rurales de construcción sencilla.
- Construcciones de ladrillo, de bloques de concreto y de sistema mixto.

- Construcciones de concreto armado y buenas construcciones en madera.
- C. Porcentaje de los edificios dañados
- Pocos, cuando las casas dañadas no pasan del 5% de las viviendas de un poblado.
 - Medianos, cuando el número de casas dañadas viene a ser aproximadamente el 50%.
 - Muchos, cuando los daños afectan al 75% de las construcciones, o más.
- D. Naturaleza de los daños en el interior de las viviendas:
1. Agrietamiento y caída de repellos.
 2. Agrietamiento de paredes y caída de tejas.
 3. Grietas muy anchas en las paredes y algunos desplomes.
 4. Derrumbe parcial de paredes.
 5. Derrumbe total de la construcción.

La tabla 2 muestra en forma simplificada la naturaleza de los daños ocurridos en varios terremotos, dando margen para apreciar la intensidad del terremoto, relacionando el material usado en los edificios, la intensidad de los daños sufridos y la naturaleza de estos daños. Para el método se consideran temblores mayores del grado VI.

Tabla 2. Nivel de vulnerabilidad relacionando los daños ocurridos de acuerdo con la intensidad del sismo y el sistema estructural

Naturaleza del daño causado en relación con el tipo de construcción y la intensidad del terremoto									
Grado	Casas de adobe y viviendas rurales			Casas de mixto o bloques de concreto			Edificios de concreto o de madera bien hechos		
	poco	mediano	mucho	poco	mediano	mucho	poco	mediano	Mucho
VI	2	1	-	1					
VII	4	3	-	2				1	
VIII	5	4	-	4	3		3	2	
IX		5	-	5	4		4	3	
X		-	5	-	5		5	4	

Se habla a menudo de la mala calidad de las construcciones de adobe y el riesgo alto que representan para sus pobladores, lo cual se reafirma con los niveles de vulnerabilidad que les asignan los métodos de vulnerabilidad descritos; los cuales evalúan más el material en general que los casos excepcionales que hay en construcciones que han perdurado y son algunos de los más grandes monumentos de varias regiones del mundo, incluso varias en zonas sísmicas.

La realidad es que los sistemas de adobe son vulnerables, pero su índice depende de factores como los materiales, el proyecto arquitectónico y estructural y la calidad constructiva que incluye la supervisión de cada proceso.

Hay construcciones que a simple vista nos permiten observar que son muy vulnerables, pero otras han sido restauradas, reforzadas o planeadas estructuralmente, las cuales deben colocarse a un nivel similar a mampostería reforzada interiormente. La figura 19 muestra dos ejemplos que se consideran adecuados para mantenerse en un nivel de vulnerabilidad A y B respectivamente considerando la metodología de la UAM.



Figura 19. Viviendas de adobe ubicadas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas y que presentan distinto nivel de vulnerabilidad de acuerdo con la metodología de la UAM, A y B, respectivamente.

De acuerdo con la metodología^[20] se determinó la densidad de muros conforme con la resistencia obtenida en el estudio experimental^[18], no se coloca el procedimiento que se empleó, ya que se retoma integralmente la citada propuesta que consiste en una metodología para

evaluar la vulnerabilidad a través de la densidad de muros para construcciones de mampostería y adobe. El método es adecuado para estructuras de mampostería aunque considera su postulación a partir de analogías de SIGL (Sistema de un grado de libertad). Los resultados se observan en la figura 20.

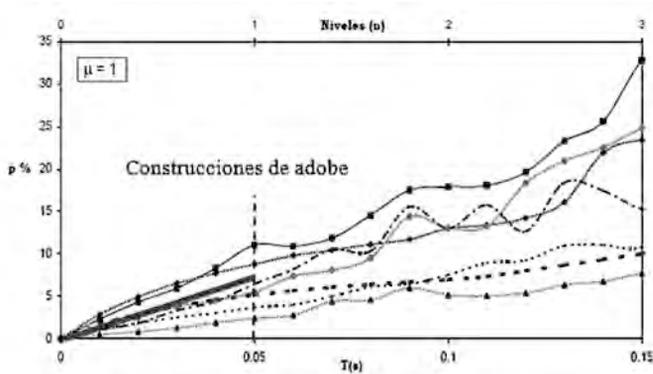


Figura 20. Densidad de muros en función del período de la construcción de adobe. [20]

En la figura 20 observamos que a medida que aumentamos la flexibilidad de la construcción de adobe, debemos incrementar la densidad de muros en planta (además estos deben ser regulares). Para una sección lo suficientemente rígida bastaría con un nivel superior del 6.0% de densidad de muros, mientras que para una más flexible es casi imposible de alcanzar ya que estaría en un rango superior al 20% en condiciones de un comportamiento sensiblemente elástico, lo cual nos lleva a considerar estructuras regulares y de baja altura para las construcciones de adobe.

A pesar de los resultados obtenidos ninguno de los estudios anteriores contiene los suficientes elementos para obtener una curva de vulnerabilidad, la que tiene como fin predecir el nivel de daño estructural que se va a presentar en las construcciones de un mismo tipo, en un sitio de interés, cuando se presente un evento sísmico que produzca cierta intensidad. No obstante su utilidad, la obtención de una curva de vulnerabilidad conlleva un buen número de complicaciones, la mayoría de ellas asociadas a la falta de información suficiente y confiable, relacionada con

los parámetros que la definen. Lo anterior hace que las conclusiones que se obtengan a partir de ella tengan cierto nivel de incertidumbre. ^[14]

Tras algunos estudios, contando con una importante base de datos de daños en varios sismos para distintas regiones de Italia ^[27], se encontró que para mampostería sin reforzar y estructuras de adobe, la distribución de daños podía ser representada por una matriz de probabilidad de daño, la cual se muestra en la tabla 3. El autor aclara que es más fácil calibrar daño en estructuras con alto nivel de daño ^[14 y 11], sin embargo se requiere de experiencia y conocimiento de las condiciones regionales, tanto de materiales como de procesos constructivos, para obtener los datos que se asignaran a estructuras con bajos niveles de daño sísmico (0, 1), e incluso estructuras con niveles de daños medios (2, 3).

Tabla 3. Matriz de probabilidad de daño para edificios de mampostería no reforzada y adobe, para las distintas regiones de Italia. ^[27]

Nivel de daño	Intensidad sísmica escala MSK-92					
	V	VI	VII	VIII	IX	X
0	90.4	18.8	6.4	0.1	0	0
1	9.2	37.3	23.4	1.8	0.2	0
2	0.4	29.6	34.4	10.0	2.0	0.4
3	0	11.7	25.2	27.8	12.5	4.7
4	0	2.3	9.2	38.7	38.3	27.9
5	0	0.2	1.4	21.6	47.0	67.0

Los datos de daños sísmicos en estructuras de mampostería en ciudades italianas se retoman para este estudio, debido a que, en Chiapas no se cuenta con bases de datos de daño sísmico, además que para estructuras sin refuerzo los resultados son muy similares. En la tabla 3 se muestra que hay mayor dispersión en los cocientes de daño para intensidades pequeñas que para intensidades grandes, ya que es más difícil identificar niveles de daño menores en las construcciones. Estos resultados se constatan al relacionar los daños de la tabla 3 con dos conceptos denominados: ^[14]

- Cociente sencillo de daño

$$\frac{D_n}{D_{n+1}} \quad (1)$$

- Cociente doble de daño

$$\frac{D_n / D_{n+1}}{D_{n+1} / D_{n+2}} \quad (2)$$

Donde D_n , es el nivel de daño estudiado desde el cero y hasta el cinco, D_{n+1} representa el siguiente nivel de daño respecto al que estamos estudiando, finalmente D_{n+2} corresponde a dos niveles de daño arriba del que estamos estudiando. Con los cocientes de las ecuaciones 1 y 2 se construye la tabla 4. Al observar los datos incluidos en la tabla 4, podemos identificar a través de los coeficientes de variación la dispersión de los coeficientes dobles de daño y su valor medio. Así, para intensidades de daño altas, los coeficientes de variación están entre 1 y el 4%, mientras que para daño menor en las construcciones, los valores están entre el 12 y 14%. Cuando se analizan las estructuras de adobe posterior a eventos sísmicos generalmente los daños son importantes, por lo tanto, consideramos adecuado el empleo del método propuesto ^[14], como una medida de la vulnerabilidad de viviendas de adobe.

Tabla 4. Estadísticas de los cocientes dobles de daño para la mampostería sin reforzar y adobe. ^[14]

Cociente doble	Valor medio	Coefficiente de variación
$D_0/D_1/D_1/D_2$	0.38	0.14
$D_1/D_2/D_2/D_3$	0.53	0.12
$D_2/D_3/D_3/D_4$	0.50	0.01
$D_3/D_4/D_4/D_5$	0.41	0.04

En este estudio se implementó la metodología desarrollada^[4], con los datos de daños medios de los sismos de Ometepec, Guerrero (1995), Oaxaca, Oaxaca (1999) y Colima, Colima (2003), pero se adicionó al estudio los datos del sismo registrado más importante en la historia Chiapas, el de Villaflores (1995), se construyó la tabla 5 y la correspondiente curva de vulnerabilidad que se muestra en la gráfica de la figura 21, la cual corresponde a los daños esperados por las viviendas rurales típicas del sureste mexicano en función de la aceleración máxima del terreno esperada.

Tabla 5. Estadísticas de daños medios generados en sismos recientes en ciudades del sureste y el Pacífico mexicano

Sismos estudiados	Aceleración máxima suelo firme (gals)	Factor de amplificación	Aceleración máxima suelo blando (gals)	Daño medio estimado
Ometepec, Guerrero 14/sep/95	266	1.58	420	0.48
Oaxaca, Oaxaca 30/sep/99	40	4.91	197	0.31
Colima, Colima 21/ene/03	158	2.79	442	0.62
Villaflores, Chiapas 21/oct/95	287	1.46	419	0.39

En este estudio, la curva de vulnerabilidad que se desarrollo con los datos de los cuatro sismos estudiados, se ajusto como función de distribución de probabilidad del tipo lognormal con media y desviación estándar, que están dadas por los siguientes valores respectivamente ϕ (5.675, 0.996).

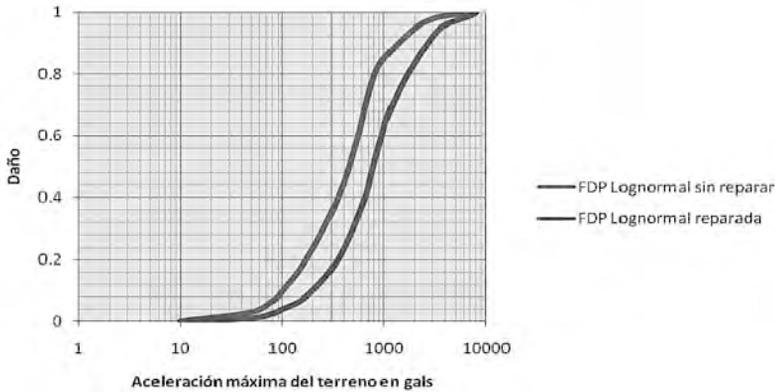


Figura 21. Curva de vulnerabilidad para la vivienda tradicional para Oaxaca, Chiapas y Guerrero, en el sureste de México construida con la metodología propuesta. [14]

De acuerdo al modelo probabilístico de Poisson [28], los periodos de retorno (en años) asociados a las construcciones tradicionales de los centros históricos son: 150, 475 y 975 años. Sabemos que las construcciones de adobe en Tuxtla Gutiérrez y en zonas rurales no tienen el valor histórico para diseñarlas con periodos de retorno tan altos, por lo que en este estudio consideramos 150 años. Con las aceleraciones máximas para los distintos periodos de retorno obtenidos [14], para Chiapa de Corzo y las obtenidas en este estudio para Tuxtla Gutiérrez, se construye la tabla 6.

Tabla 6. Daños medios esperados en la vivienda de adobe tradicional de Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo, Chiapas de acuerdo con la metodología propuesta. [14]

Periodo de retorno (años)	Daño medio esperado Chiapa de Corzo (por ciento del costo total)	Daño medio esperado Tuxtla Gutiérrez (por ciento del costo total)
150	0.27	0.39
475	0.39	0.56
975	0.52	0.71

Recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad del proyecto arquitectónico en construcciones de adobe

Si bien es cierto que los aprendizajes más grandes en la ingeniería estructural y sísmica se presentan después de un evento sísmico importante, en sentido contrario podemos también apreciar aquellos detalles y características constructivas que permitieron que edificaciones de adobe en una misma región resistieran las demandas impuestas sin presentar fallas importantes. Estas observaciones se han obtenido de manera empírica y posteriormente se han probado en laboratorios de distintos centros de investigación.

En este capítulo hacemos las siguientes recomendaciones para mejorar el proceso constructivo de adobe y con ello poder evaluarlo con vulnerabilidades similares a la mampostería reforzada interiormente, en la tabla 7 se compara la vulnerabilidad A contra la B:

Para las piezas: Las recomendaciones nacen del proyecto estructural que se presenta en este capítulo.

- Emplear piezas de adobe industrializadas, con sección desde 30 x 30 x 8 cm y hasta 50 x 30 x 10 cm con al menos 10 días de secado dependiendo del clima, haciendo estudios en la misma proporción que lo que recomiendan las normas. [29]

Para el proyecto arquitectónico, las recomendaciones son: [13]

- Plantas arquitectónicas con muros transversales con separación menor a 4.0 m y alta densidad de muros (mayor a 6.0%).
- Formas arquitectónicas regulares en planta y elevación, pudiendo ser: cuadradas, rectangulares o incluso circulares. Relación largo ancho máxima 1:1.5.
- Altura máxima de muros 3.50 m. Sólo construir un nivel.
- Aberturas de ventanas o puertas menores a 1.20 m, o un tercio de la longitud del muro que contenga la abertura, se emplea la que resulte menor.
- Ubicación de los huecos de ventanas o puertas a una distancia mayor de 1.20 m de las esquinas del muro.

Refuerzo estructural, las recomendaciones son: ^[13]

- Relación de esbeltez (altura de los muros respecto a su espesor) menor a 8.
- Elementos confinantes de concreto en las esquinas y cambio de dirección de muros, de manera similar a lo realizado en la mampostería confinada.
- Cadenas de cerramiento perimetrales en todo el contorno superior de los muros y en las aberturas de puertas y ventanas, de manera similar a lo realizado en la mampostería confinada.
- Cimentación de piedra braza que reduce el ascenso de humedad a los muros, con sección de al menos 1.50 veces el espesor del muro.
- Repello de muros para protegerlos del intemperismo con mortero de arcilla/arena en una proporción de 1:4, con espesor mínimo y suficiente para tener una superficie plana. Acabado con un mortero cal-arena 2:1 con espesor aproximado a 2 mm.
- Peso de cubierta reducido mediante el uso de láminas acanalaadas: metálicas o de asbesto, pero no de teja.
- Volados perimetrales en la zona de la cubierta para proteger a los muros de la lluvia e intemperismo.

Tabla 7. Vulnerabilidad de construcciones de adobe para distintas características constructivas y estructurales

Indicador	Vulnerabilidad	
	A	B
Piezas a compresión	< 20.00 Kg/cm ²	> 20.00 Kg/cm ²
Mortero	< 35.00 Kg/cm ²	> 35.00 Kg/cm ²
Dimensiones de las piezas	espesor < 30cm	Sección mínima 30 x 30 x 8
Densidad de muros	< 6.00%	> 6.00%
Relación largo ancho	> 1.1.5	< 1:1.5
Altura	> 3.50 m	< 3.50 m un solo nivel
Elementos confinantes de concreto en esquinas, cambios de dirección, cadenas, similar a mampostería confinada	Si los incluye no son adecuados o suficientes	Incluye

Indicador	Vulnerabilidad	
	A	B
Repello y protección para humedad	No incluye o no tiene mantenimiento	Incluye repello de acuerdo a los especificado y se cumple con el mantenimiento
Cubierta	Liguera o pesada con un diseño o detallado inadecuado	Ligera, bien anclada, con tirantes que garanticen la estabilidad del diafragma

Técnicas de reparación de daños y rehabilitación estructural en viviendas de adobe empleadas en México y el extranjero

Desde la antigüedad, el adobe siempre ha sido un material que ha resuelto el problema de vivienda económica. También a últimas fechas, se ha vuelto muy atractivo desde el punto de vista de las construcciones con materiales sustentables, de bajo consumo energético para su producción y de atractiva presentación para el proyecto arquitectónico, claro está siguiendo las recomendaciones que se enumeraron en el apartado anterior. Sin embargo, la debilidad que presentan las construcciones de adobe a eventos sísmicos ha persistido, por lo que los investigadores se preguntan cómo reparar las viviendas que ya están construidas o cómo rehabilitar aquellas que tras un evento han sido dañadas.

Los investigadores son conscientes que cuando se habla de estructuras de adobe, nos referimos a un material de alta rigidez, nula ductilidad y con propiedades mecánicas que no lo hacen competitivo para zonas sísmicas. Aún así, y debido al ingenio e investigación en el área, se puede hablar en la actualidad de “vivienda sismoresistente de adobe tecnificado”. En la siguiente relación se presentan algunas de las propuestas que se han estudiado en México y en el extranjero para incrementar su resistencia o para reparar el sistema posterior a una falla:

- Elaboración de un mortero de barro, cal, paja y arena para incrementar adherencia entre piezas y la resistencia a corte de los muros. ^[30 y 31]

- Vigas de madera de confinamiento perimetral en la unión de los muros con la cubierta para incrementar la integridad estructural ^[5 y 32], ver técnica en la figura 22a.
- Colocación de acero reforzado en juntas horizontales como tensores (sin cortes hasta los elementos verticales) para aumentar la resistencia a tensión y ductilidad del muro. ^[33]
- Tensores longitudinales para unir muros longitudinales con los transversales, así como las armaduras de la cubierta. ^[14 y 34]
- Colocación de cadenas y castillos de concreto de manera similar al sistema de mampostería confinada tradicional ^[4 y 34]
- Encamisado de muros con malla electrosoldada calibre 10, o malla de gallinero calibre 20, este sistema aumenta significativamente la capacidad de ductilidad, no así la resistencia y rigidez. Existen experiencias muy positivas relatadas ^[5 30 31 34 35 y 36]. La malla electrosoldada ayuda siempre y cuando no sea en todo el elemento para que le permitan respirar al muro, ya que de lo contrario el agua contenida en este terminará desadiriendo el concreto del adobe, ver figura 22b. Hay una variante de encamisado de muros con malla electrosoldada calibre 8 y mortero de ferrocemento. ^[3]
- Modificación de techos generando un diafragma flexible integral con menor peso al sustituir las techumbres de teja de barro por láminas galvanizadas o de asbesto corrugado ^[37 y 21], verificaron que el comportamiento sísmico de las edificaciones de mampostería simple depende de la rigidez e integridad de los sistemas de piso y su conexión con los muros.
- Incremento en la rigidez transversal del sistema anexando muros internos o contrafuertes externos para evitar asimetrías torsionales. ^[21 y 31]
- Refuerzo de las piezas de adobe con fibras de caña de azúcar para incrementar la resistencia a tensión. ^[31 y 38]
- Refuerzo con barras de guadua o caña en el interior, tal como sucede con las piezas de mampostería con refuerzo interior, ver figura 22c. ^[31]

- Refuerzo con flejes de plástico de manera transversal a lo largo del muro, haciendo una envolvente a cortante. También hay una modalidad con mallas plásticas, el método ha demostrado en laboratorio que aumenta la ductilidad, no así la resistencia y rigidez. [39]



Figura 22. (a) Refuerzo de muros de adobe con madera en Colombia (Cardona y otros, 2004), (b) Vivienda de adobe rehabilitada con aplanado de mortero sobre malla electrosoldada que resistió sin daños el sismo de Arequipa (Zegarra y otros, 2001) y (c) Refuerzo interior de caña en viviendas de adobe en Perú. [31]

Propuestas de reparación de daños y rehabilitación estructural en viviendas de adobe para el estado de Chiapas

Considerando las distintas alternativas que se presentaron en la sección anterior, y de acuerdo con el estudio [5] y lo desarrollado en la investigación que resultó en el presente capítulo, al reforzar la mampostería de adobe o la de piezas de arcilla sin refuerzo con las técnicas que se señalan en la tabla 8, se alcanzan incrementos de resistencia importantes, aunque debe balancearse la resistencia con la capacidad de deformación y la rigidez de las estructuras reparadas.

Tabla 8. Resistencia y ductilidad comparativa para los sistemas de reparación adecuados para estructuras de adobe en Chiapas

Sistema de refuerzo	Comparación de resistencia	Comparación de ductilidad
Ninguno	1.00	1.00
Tirantes que rigidicen muros y cubierta	1.60	2.10
Malla electrosoldada con mortero (esquinas)	2.30	1.80

Haciendo las reparaciones que se mencionan en la tabla 6, se obtiene la curva de vulnerabilidad, la cual permite entender cómo se reduce la vulnerabilidad de las viviendas de adobe de Tuxtla Gutiérrez, donde se reduce el daño probable en porcentajes cercanos al 20%, lo cual lo podemos ver en la figura 23.

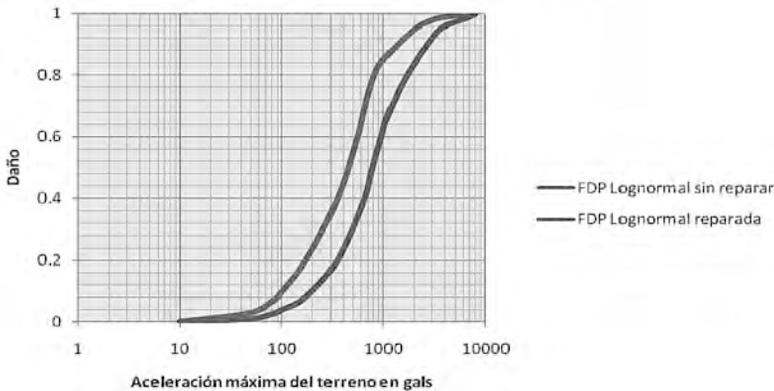


Figura 23. Curva de vulnerabilidad para la vivienda tradicional en Chiapas antes y después de repararla

Conclusiones y recomendaciones

En gran parte el problema de las patologías que presentan nuestras construcciones de adobe se originan a partir de una problemática común; no existe investigación y experimentación de un nivel importante, constante y homogéneo en todo el país. De esto se deriva la carencia de información para integrar reglamentos, normas y procedimientos con las particularidades que deben tenerse en cada región del país y se termina, en el mejor de los casos, refiriéndose a reglamentos nacionales o internacionales que no siempre dan respuesta clara a las necesidades locales, eso es una constante para la mampostería.

Las consecuencias de los sismos ocurridos en la región sureste del país han cobrado vidas, trascendiendo en los grupos con mayor grado de marginación de la población, que por desconocimiento y carencia de recursos, recurre a la autoconstrucción con materiales de baja cali-

dad y pobre comportamiento estructural para edificar su vivienda. La experiencia empírica no necesariamente da respuestas correctas a los procedimientos constructivos que han venido usándose.

El adobe es un material artesanal, el cuál es y puede seguir siendo utilizado para la construcción de viviendas, pero éste debe ser elaborado llevando un estricto control de calidad, como debería de realizarse en todas las obras civiles.

Existen construcciones de adobe, que por la calidad técnica, cuidado durante el proceso y proyecto arquitectónico o por las intervenciones estructurales de las que han sido efecto merecen considerarse menos vulnerables que el resto. En el presente capítulo se propone un conjunto de criterios para tomar en cuenta esta consideración.

La experiencia empírica no necesariamente da respuestas correctas a los procedimientos constructivos. Los técnicos y tecnólogos tienen la obligación de mostrar al medio y a la sociedad en general la importancia del desarrollo y adaptación de los procesos científicos a las estructuras de adobe para vivienda y así garantizar un tiempo de vida óptimo.

En este capítulo se ha hecho énfasis en la necesidad del conocimiento de las distintas técnicas de reparación para disminuir la vulnerabilidad de las viviendas de adobe y de diseñarlas y construirlas de manera más consiente cuando estamos frente a este reto, sabemos que son vulnerables, pero la ingeniería bien aplicada puede hacer construcciones más seguras, incluso ante estructuras tan complejas como lo son las de adobe.

Agradecimiento

El autor agradece muy especialmente al CONACYT, COCyTECH y al Gobierno del Estado de Chiapas, por financiar el proyecto FOMIX CHIS-2007-007-78716, que corresponden a Tuxtla Gutiérrez. El presente documento representa un reporte de las actividades que se realizaron. También se agradece a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, a la Universidad Autónoma de Chiapas y a la Universidad Autónoma Metropolitana, por el apoyo, tiempo y facilidades otorgadas a los participantes del proyecto para realizar la investigación que se presenta.

Referencias Bibliográficas

1. Rebollar C., Quintanar L., Yamamoto J. y Uribe A., 1999, "Source process of the Chiapas, Mexico, Intermediate-Depth Earthquake of 21 October 1995", en *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89, 2 pp. 348-358.
2. Sordo E., Gómez A., Juárez H., Gama A., Guinto E., Whitney R., Vera R., Mendoza E. y Alonso G., 1996, "El sismo de Ometepec del 14 de septiembre de 1995", en *Memorias X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Mérida, México. Vol. I pp. 424-432.
3. Morales V., Caballero T. y Ortiz M., 2004, "Experiencia en reforzamiento de muros de adobe compactado en Oaxaca, México", en *Primera Conferencia Internacional Sismos*, Santiago de Cuba.
4. Vera R. y Miranda S., 2004, "Comportamiento sísmico de estructuras de mampostería en la república mexicana", en *Primera Conferencia Internacional Sismos*, Santiago de Cuba.
5. Hernández O., Meli R. y Padilla M., 1979, "Refuerzo de vivienda rural en zonas sísmicas", en *Informe 8167*, Instituto de Ingeniería. México.
6. INEGI, 2006, "Anuario estadístico Chiapas tomo I y II". Censo de Población y vivienda 2005, México, D.F.

7. Hernández R., 2005, “Estudio de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez”, en *Tesis de licenciatura*. Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ingeniería, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
8. Guillén L., 2005, “Vulnerabilidad sísmica de estructuras por muestreo estadístico”, en *Tesis de Maestría*. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F., 130págs.
9. Sánchez, P.A., 2010. “Identificación de las tipologías constructivas y su historia en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas”, en *Tesis de la licenciatura en Ingeniería Civil*, UNACH, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
10. Ovando H. y Ruiz J., 2008, “Caracterización mecánica del adobe de Tuxtla Gutiérrez”. *Tesis de licenciatura de Ingeniería Civil*, UNACH.
11. Houben H. y Guillaud H., 1994, “Earth Construction – A Comprehensive Guide”, en *ITDG Publishing*, London, UK.
12. Tena A., 2007, “Apuntes de la materia de mampostería estructural”, *Posgrado de Ingeniería Estructural*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México, D.F.
13. González H., Aguilar J. y Gomez C., 2008, “Vulnerabilidad de viviendas de adobe en Chiapas y alternativas de reparación”, en *Memorias en extenso del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Veracruz, México.
14. Salgado A., 2005, “Daños por sismo esperados en las viviendas tradicionales de ciertos centros históricos del sureste mexicano”, en *Memorias en extenso del XV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, México D.F.
15. Castro, A., 2001, “Cronología histórica sobre los desastres naturales y sociales en Tuxtla Gutiérrez”, en *Páginas históricas de Chiapas*, 48, 1-2.

16. Figueroa J., Lomnitz C., Dawson A., Meli R. y Prince J., 1975, “Los sismos de julio a octubre de 1975”, en *Informe de Investigación Instituto de Ingeniería de la UNAM*, México, D.F.
17. Rodríguez, M., E. Nava, T. Domínguez y J. Havskov, 1985, “Informe de los sismos ocasionados durante la construcción de la presa Manuel Moreno Torres (Chicoasén)”, en *Informe de Investigación Instituto de Ingeniería de la UNAM*, México, D.F.
18. González, R., Borraz, M. A., Aguilar, J., Narcía, C., y J. A. Ruiz, 2009, “Caracterización mecánica del adobe de Tuxtla Gutiérrez y su relación con la vulnerabilidad”, en *Memoria en extenso del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Puebla, Puebla, 11 al 14 de noviembre de 2009.
19. Rodríguez M., Alarcón P. y Machicao R., 1997, “Evaluación del comportamiento sísmico a base de muros de mampostería durante el sismo de Caleta de Campos, del 11 de enero de 1997”, en *Memorias en extenso del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Veracruz, México, Vol. II pp. 1361-1370.
20. Rodríguez M., 2004, “Un enfoque alternativo para la evaluación y diseño de edificaciones de mampostería en zonas sísmicas”, en *Revista de Ingeniería Sísmica* No. 70, pp. 27-58.
21. Tena A., 2004, “Enseñanzas principales durante sismos recientes”, en *Memoria en extenso del Seminario anual riesgo, terremoto y huracán*, Hannover, Alemania.
22. Alcocer S. y Klingner R., 2006, “El sismo de Tecomán, México del 21 de enero de 2003”, en *Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica y Earthquake Engineering Research Institute*, México, D.F.

23. Safina M., 2003, “Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico”, en *Tesis doctoral*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
24. Barbat A., 1998, “El riesgo sísmico en el diseño de edificios”, en *Cuadernos técnicos 3, calidad siderúrgica*, S.R.L., Barcelona, España.
25. Arellano E., Juárez H., Gómez A., Lara J. y Sánchez E., 2003, “Caracterización y clases de vulnerabilidad de edificaciones de la colonia Roma, Ciudad de México”, en *Memorias en extenso del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, León, Guanajuato, México.
26. Sánchez T., 2005, “Vulnerabilidad y riesgo de la vivienda en México”, en *Memoria en extenso del Seminario Edificaciones de mampostería*, abril, Morelia Michoacán, México.
27. Zuccaro G., 1998, “Seismic vulnerability of Vesuvian villages: structural distributions and a possible scenario”, *Reducing Earthquake Risk to Structures and Monuments in the EU, Conference Proceedings*.
28. Feller W., 1991, “Introducción a la teoría de probabilidades y sus aplicaciones”, editorial Limusa, México, D.F.
29. Normas Técnicas Complementarias para Diseño de Mampostería del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, retomadas por el Reglamento de Construcciones de Tuxtla Gutiérrez 2004.
30. Secretaría de Asentamientos y Obras Públicas, 1977, “*Cartilla de reconstrucción para vivienda de adobe*”, pp. 76, México D.F.
31. Blondet M., Villa García G. y Brzev S., 2003, “Construcciones de adobe resistentes a los terremotos”, en *EERI/LAEE*, www.world-housing.net, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

32. Cardona O., Yamín L., Phillips C., Reyes J., Rivero S. y Arias R., 2004, "Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada", *AIS Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica*, Bogotá, Colombia.
33. Mizuno H., Fukuta T., Ohkawa I. and Eliba M., 1988, "A Monotonic lateral loading test of adobe wall specimens", *Building Research Institute, Ministry of Construction*, Tsukuba, Japan, 20 pp.
34. Alcocer S., Gallegos H., Vasconcelos D., Sánchez T., De la Torre O., Miranda E., Hernández O., Jean R., Pérez J., Ruiz J., Sánchez T., Faradji M., Duarte S. y Eibenschutz R., 1999, "Edificaciones de mampostería para vivienda". Fundación ICA, México D.F.
35. Modena C., 1989, "Italian practice in evaluating, strengthening, and retrofitting masonry buildings", en *Seminario Internacional sobre Evaluación, Refuerzo y Rehabilitación de Edificios de Mampostería*, The Masonry Society.
36. Egarrá L., San Bartolomé A. y Quiun D., 2001, "Comportamiento ante el terremoto del 23 de junio de 2001 de las viviendas de adobe reforzadas en Moquegua, Tacna y Rica", en *Reporte DI-SIC-2001-08*, *Departamento de Ingeniería Civil*, Pontificia Universidad Católica del Perú.
37. Tomazevic M., Lutman M. y Weiss P., 1996, "Seismic upgrading of old-brick masonry urban houses tying of walls steel ties", *Earthquake Spectra, Earthquake Engineering Research Institute*. Vol 12, No. 3, Agosto, pp. 599-622.
38. Blondet M., Torrelva D. y Villa García, 2002, "Adobe in Peru: Tradition, Research and Future", en *Modern Earth Building, 2002. International Conference and Fair*. Berlin, Germany.

39. Ramírez H. y Carreón B., 2004, “Reparación y refuerzo de muros de mampostería para vivienda de bajo costo”, en *Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Acapulco, Guerrero, México.
40. Figueroa, J., 1973, “Sismicidad en Chiapas”, *Reporte de Investigación del Instituto de Ingeniería de la UNAM*, México, D.F.

VI. Notas para una historia ambiental del río Sabinal (1921-2005)

Carlos Uriel del Carpio Penagos

Introducción

La historia ambiental es un campo relativamente reciente de la historia; su surgimiento está relacionado con el creciente deterioro del medio ambiente^[4] así como con la necesidad de buscar nuevos enfoques teóricos frente a las limitaciones del modelo analítico centrado en el Estado-nación^[1]. La historia ambiental propone expandir el marco geográfico de los estudios históricos más allá de los límites nacionales de un país, ya que los ecosistemas o los rasgos naturales, como ríos, selvas, montañas, desiertos, en los que se desarrollan sociedades que comparten lengua, cultura, economía, historia, muchas veces son compartidos por un conjunto de naciones que han introducido límites políticos arbitrarios sobre el territorio, por lo tanto, la narrativa histórica debe ir más allá de las fronteras políticas. “*Muchas de las cuestiones de este nuevo campo desafían una nacionalidad estrecha*” ^[1], (Worster 1991, citado por Arruda). Pero no es únicamente la categoría de “espacio” la que debe ser reelaborada, sino también la de “tiempo” y la de “ciencia”. Tradicionalmente, la historia se considera importante porque tiende un puente entre el pasado y el presente, se argumenta que para entender el presente es necesario estudiar el pasado; sin embargo, tal como plantea Palacio, *la historia, a la luz de las preocupaciones ambientales contemporáneas, amplía su perspectiva tanto hacia atrás a un pasado más remoto, como hacia delante rumbo al futuro* (op.cit., p. 71). Esta perspectiva del tiempo

está relacionada con la necesidad actual de redefinir las relaciones de los hombres con la naturaleza debido a la preocupación por el deterioro de la calidad de la vida humana y la disminución de la capacidad de sustentación del planeta. Esto hace que la historia ambiental no solamente estudie el pasado para entender el presente sino principalmente para ofrecer alternativas de futuro.

Por lo que respecta al concepto de “ciencia”, la historia ambiental constituye una apuesta por superar el tradicional dualismo que separa “ciencias naturales” de “ciencias sociales”; “ciencias duras” de “ciencias blandas” mediante una combinación interdisciplinar en lugar de la extrema especialización.

El presente estudio si bien no desafía los límites del Estado-nación puesto que en este caso se trata de un estudio sobre un pequeño río de menos de 20 kilómetros de recorrido en una microcuenca interior del estado mexicano de Chiapas, por lo menos sí trata de extraer lecciones del pasado de las relaciones entre el río y los habitantes de sus márgenes no solamente con la finalidad de entender el presente de dichas relaciones, sino sobre todo para proponer alternativas en el manejo de dicha relación, pensando en la supervivencia del Sabinal como caudal de agua, en armonía con el conjunto del ecosistema de la microcuenca, así como en la imagen urbana de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y en la seguridad y bienestar de sus habitantes.

Planteamiento del problema

Las transformaciones ocurridas en el medio ambiente por efectos de la actividad humana, cuando son muy severas, generalmente se revierten en contra del bienestar de la población. Así ha sucedido en la microcuenca del río Sabinal, donde la evidencia histórica del hombre ha sido continua desde tiempos precoloniales, iniciándose con ello un proceso de transformación del medio natural en paisaje cultural. Los cambios de uso del suelo han redundado en pérdida de la cubierta vegetal, en erosión del suelo, en expansión de áreas urbanas, en asolvamiento de cauces, entre otros impactos negativos. El crecimiento urbano en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez ha tenido una notable expansión durante

las últimas dos décadas del siglo XX, incrementándose el número de colonias, fraccionamientos, calles, avenidas, equipamientos, espacios públicos, etc, lo que, en pocas palabras, ha significado deforestación acelerada de la subcuenca, incremento de la superficie con pavimentos, así como construcción de puentes, viviendas, edificios, incluso encima de los cauces de ríos y arroyos, lo que ha conducido a la desaparición de los mismos por debajo de la trama urbana. Por otro lado, las áreas rurales también se han visto transformadas porque han mejorado las vías de comunicación entre las localidades. Los centros urbanos intermedios, como las cabeceras municipales, han acortado la distancia en tiempo y en dificultades de transporte con sus respectivas localidades, las que a su vez han aumentado su población, por lo que hoy día hay más presión sobre el suelo. Esta situación ha generado cambios en la esfera política y en la forma e intensidad de uso del territorio.

La necesidad de suelo para vivienda y la voracidad de fraccionadores en colaboración con las autoridades respectivas, ha conducido a la ocupación del cauce de ríos y arroyos, así como de las zonas federales adyacentes, generando con ello no solamente la degradación de los ecosistemas afectados, sino su completa transformación.

El río Sabinal

Es un afluente que se forma al oeste de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas, ciudad a la que atraviesa de oeste a este para desembocar en el río Grijalva. A su paso por la ciudad recibe las aguas de otros afluentes y corrientes menores, algunos de los cuales se muestran en la Figura 1.

Antiguamente todos estos escurrimientos mantenían su caudal a lo largo del año, pero con el crecimiento de la ciudad y la consiguiente pérdida de cubierta vegetal del entorno, la mayoría de ellos se volvieron corrientes intermitentes que solamente recobran su fuerza durante la temporada de lluvias. Durante un aguacero arrastran miles de toneladas de tierra de los cerros; y de basura de las calles de la ciudad hacia el río Sabinal, provocando taponamientos y generando desbordamientos. Cuando esto sucede se presentan inundaciones y encharcamientos por diversos puntos de la ciudad.

La tabla I es un listado de las corrientes que se desbordan y las zonas que afectan:

Tabla I. Tuxtla Gutiérrez, Colonias que resultan afectadas por el desbordamiento del río Sabinal y sus afluentes

No.	AFLUENTES	ÁREAS AFECTADAS
1	La Chacona	Los Laureles
2	San Agustín	Los Tulipanes y FOVISSSTE II
3	Potinaspak y Pistim- bak	La Llave, Las Américas, FOVISSSTE Paraíso, Linda Vista Shanka, Adonahí, Potinaspak y Niño de Atocha.
4	Totoposte	Colonia Maya
5	San Roque	Colinas del Sur, Maldonado, Lomas del Venado, Potrero Mirador, Fraccionamiento Mercedes, Colonia 2 de Febrero
6	La Laguna	Belisario Domínguez y Plaza Cristal
7	Poc-Poc	Zona centro entre 4ª y 5ª sur y 15ª oriente
8	Santa Ana	Bienestar Social, Mexicanidad Chiapaneca, Santa María la Rivera
9	Cerro Hueco	Rivera Cerro Hueco y La Salle
10	Patria Nueva	Paso Limón, La Ilusión, Lomas del Oriente, Cueva del Jaguar, Los Pájaros
11	Pomarrosa	Mirador, Barrio Tizatillo, Pomarrosa, Mira Valle y Mirador 2ª. Sección
12	Ojo de Agua	Mirador, Barrio Tizatillo, Pomarrosa, Miravalle y Mirador 2a. Sección, 5ª. Norte, a la altura del entronque con el Libramiento Norte
13	El Cocal	Penipak
14	Romeo Rincón	Colonia Romeo Rincón, Colonia Penipak.
15	El Zope	Calvarium, Colinas del Sur, Santo Domingo y San Francisco
16	San Pascualito	Vista Hermosa, Linda Vista
17	Bambú	El Bosque
20	San Francisco Sabinal	Fracc. Tucanes, CONASUPO, Fracc. San Francisco Sabinal

Fuente: *Atlas de Riesgos Municipal*, Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2001.²

Inundaciones en la microcuenca del río Sabinal

La siguiente es una relatoría parcial ya que se refiere sobre todo al siglo XX y solamente a aquellas de las que se encontró constancia por haber sido reseñadas en algún periódico local de la época. Por otra parte, la información existente no es exhaustiva ya que no existe una colección completa, día por día y año por año, de ningún periódico local. Para completarla es necesario consultar en varios archivos hemerográficos e históricos, así como hacer historia oral.

1. En 1921, durante los días 20 y 21 de octubre, cayeron sobre la ciudad torrenciales lluvias que provocaron el desbordamiento del río Sabinal, destruyendo a su paso viviendas y ocasionando grandes pérdidas a los vecinos, que ya para entonces poblaban sus márgenes. Como compensación, las autoridades municipales gestionaron una donación de la Cámara de Diputados, por la cantidad de quince mil pesos para distribuirlos entre los damnificados. ^[3]

Para tal efecto se creó un llamado “Comité de Auxilios”, encabezado por los señores Román V. González, Valeriano Magaña y el Lic. Secundino Orantes Z., quienes hicieron saber a los damnificados que cada solicitud de auxilio debía acompañarse con una información judicial comprobando debidamente los daños sufridos y señalando para tal presentación el término de 20 días. El procedimiento se burocratizó, obligando a los “solicitantes de auxilio” a superar una serie de dificultades, como gastos, pérdida de tiempo y maltratos. Un periódico de la época informa que solamente 13 familias fueron perjudicadas y que los auxilios otorgados se distribuyeron de la siguiente manera:

Tabla 2. Damnificados por las inundaciones del río Sabinal en 1921

No.	NOMBRE DEL DAMNIFICADO	AYUDA ANUNCIADA	AYUDA RECIBIDA
1	Antonio Díaz	1760.00	800.00
2	Andrea T. de Álvarez	1432.00	400.00
3	Marciano Pérez	362.00	100.00

4	José León Pérez	342.00	100.00
5	Jacinta Gómez	192.00	100.00
6	Vicenta Gómez	147.00	100.00
7	Pascuala Ovando	144.00	100.00
8	Graciano Gutiérrez	700.00	300.00
9	Luciano Cundapí	150.00	150.00
10	Felícita Madrigal	300.00	50.00
	TOTAL	5529.00	2200.00

Fuente: A partir de *Tierra y Libertad*, Órgano del Partido Agrarista Chiapaneco, 21 de Enero de 1923.

Los tres restantes que no aparecen en la lista anterior son habitantes del pueblos de Terán, que para ese entonces formaba una localidad aparte, y cada uno de ellos recibió \$20.00 (veinte pesos). Este dinero fue proporcionado directamente por el Gobierno Federal, encabezado por el general Álvaro Obregón (Archivo Histórico UNICAH, 1921; Libro 102). Aquí es importante señalar que existe una importante diferencia entre lo que se anunció que se repartiría y lo que finalmente se distribuyó; de un presupuesto autorizado de \$15,000.00 (quince mil pesos) solamente se repartió el 15%.

2. Exactamente 10 años después, los días 11 y 12 de octubre de 1932, el río y sus afluentes vuelven a provocar destrozos a su paso por el poblado de Terán y la zona poniente de la ciudad, inundando viviendas. Ante el perjuicio que deja este nuevo incidente, el Gobierno del Estado crea el “Comité Pro-Damnificados Terán-Tuxtla Gutiérrez”, que se encargaría de tratar de resarcir las pérdidas de los afectados. Desafortunadamente estos vecinos lejos de amedrentarse por los fenómenos mencionados, empiezan a cambiar el uso del suelo de agrícola a urbano, con lo que aumentó el peligro de las inundaciones. ^[3]

El periódico *La Vanguardia*, Órgano del Comité de Estado del Partido Nacional Revolucionario (PNR), tituló su nota principal del 16 de octubre de 1932 “Tuxtla, Terán y San Cristóbal inundados por el desbordamiento de sus Ríos. Los Gobiernos del Estado y la Federación auxilian a los damnificados”. A continuación la nota señalaba:

Como complemento de la tremenda crisis que abate a todo Chiapas en mejores condiciones que otros Estados de la República – viene otra calamidad más. Una tremenda onda marina cae en gran parte de Chiapas, y como consecuencia de ella, 6 días y otras tantas noches, llueve sin cesar un solo momento, trayendo como consecuencia lógica el desbordamiento de sus ríos y la consecuyente inundación de las poblaciones.

La inquietud de los habitantes de Tuxtla Gutiérrez, San Cristóbal de las Casas y Terán era justificada, pues sabedores de que dichas poblaciones son atravesadas por ríos que siempre constituía una amenaza, temían con la continua lluvia que se desbordaran y se hicieran estragos de consideración – como así fue arrasando las impetuosas corrientes todo lo que encontraba a su paso.

El “río Sabinal” que atraviesa el poblado de Terán y esta Capital en la parte Norte que es la más baja, se desbordó inundando completamente gran extensión a sus márgenes, trayendo como consecuencia el derrumbe de muchas casas y pérdidas considerables a los moradores en las inmediaciones del río de que hacemos mención. Las aguas destruyeron completamente todo lo que se oponía a su vertiginosa corriente convirtiendo lo que antes era hogar de pláceme, en miseria y desolación.

Tuxtla y Terán se convirtieron en parte en inmensas extensiones de agua, quedando incomunicados varios barrios del resto de la población, sufrieron de hambre, desesperación y angustia. Las aguas vertiginosas se precipitaban a su cauce arrasando todo lo que se encontraba a su paso, dejando en la miseria a innumerables familias.

En los momentos de angustia que se encontraban los habitantes de Tuxtla y Terán, el Sr. Ing. R. E. Enríquez, Gobernador del Estado, con energía y humanitarismo siempre reconocido en él, recorría el margen del río, desde Terán hasta esta Capital con patrullas de trabajadores a bordo de camiones de su gobierno, ordenando la desocupación de las casas y las medidas más efectivas para evitar desgracias personales. Debido a esa actitud a todas luces encomiable, se debe a que ambas poblaciones no se hayan registrado pérdidas de vidas.

El gobernador del Estado, con el objetivo de recolectar fondos para auxiliar a los damnificados, nombró desde luego una junta Pro damnificados de Tuxtla y Terán, la Junta la integraron:

El Sr. Celso Selvas, la Sra. Ignacia H. de Cancino, Sr. Carlos Maldonado, Sra. Ángela R. Vda. de Burguete y el Sr. Felipe Esquinca H. Esta junta recolecto fondos, habiéndose efectuado el viernes por la noche en el teatro del Estado “Emilio Rabasa”, una función de caridad actuando la compañía Rey que actúa en esta Capital.

El Señor Ingeniero Enríquez, inmediatamente se dirigió por telégrafo al General. Abelardo Rodríguez, Presidente de la República, pidiéndole ayuda de la Federación, transcribiendo el telegrama que el Presidente Municipal de San Cristóbal de las Casas le había dirigido, dando cuenta de la inundación. Al mismo tiempo se dirigió al Diputado Chiapaneco Juan M. Esponda, para que se gestiono de la Honorable Cámara de Diputados del Congreso de la Unión, una ayuda pecuniaria para los damnificados de San Cristóbal de las Casas, Tuxtla Gutiérrez y Terán. (Archivo Histórico UNICAH 1932; Libro 134).

3. Por esos años, como consecuencia del crecimiento urbano sobre el lado sur y poniente de la ciudad, y de que el nivel topográfico en estas partes era más alto, las aguas pluviales y las descargas de aguas residuales que se vertían al barranco central, un colector natural que atraviesa la ciudad de sur a norte, aumentaron, incrementando proporcionalmente el riesgo para los vecinos que vivían en el centro de la ciudad.¹

Como solución, las autoridades municipales construyeron una “presa” en el lugar comprendido entre el barranco central y la esquina de Avenida Juárez con Calle del Estado (actuales 5ª Sur y Calle Central), aprovechando la topografía y los excedentes de agua que se traían a la ciudad. La presa tendría la finalidad de detener un considerable volumen de agua, misma que en tiempo de secas se utilizaría para lavar constantemente las aguas residuales que se vertían al barranco. Se consideraba que esta obra resultaría muy útil para la salud pública, ya que podría hacerse un lavado que limpiara el agua de los drenajes que iban a caer al barranco.

En 1933, durante el gobierno del coronel Victórico Grajales, con la finalidad de aumentar el caudal de agua para arrastrar los desechos gene-

¹ Ese barranco existía donde actualmente está el mercado Juan Sabines antes Díaz Ordaz, bajo el cual discurren aún hoy día dos arroyos que provienen del sur de la ciudad.

rados por la población de la zona sur, así como para evitar la procreación de zancudos y malos olores a lo largo del barranco central, se reconstruyó la presa mencionada y se le adaptó una nueva compuerta de fácil manejo, la que se abriría diariamente para mantener limpio el barranco. Sin embargo, el caudal pronto fue insuficiente para llevar consigo tanta basura arrojada al cauce, por lo que en 1934, con la cooperación de particulares, se iniciaron los trabajos de construcción de alrededor de cien metros de muros de mampostería para el embovedado del mismo.^[3]

Durante las siguientes dos décadas, el Sabinal continuó deteriorándose. Un periódico de de 1952 titula una de sus notas: “ES PELIGROSO CONSTRUIR CERCA DEL SABINAL” que dice lo siguiente:

Con no poca sorpresa hemos observado que algunas personas han estado edificando sus habitaciones en lugares muy inmediatos a los márgenes de “El Sabinal”; posiblemente confiados en que el que anteriormente fuera un río boyante, ahora es un barranco por donde corren aguas mal olientes.

Sin embargo, hay que recordar que allá por los meses de Septiembre y Octubre, “El Sabinal” que recibe las aguas de numerosos afluentes, se convierte en un peligro para los moradores inmediatos al cauce y principalmente después de la confluencia del “Poti”, que ha registrado muy fuertes avenidas de aguas en años pasados (*El Informador*, Tuxtla Gutiérrez, 31/05/1952, Archivo Histórico, UNICAH, 1952, Libro 270).

Se sabe que en 1963 hubo una inundación pero no fue posible localizar información hemerográfica al respecto. Otra inundación importante, que afectó a los vecinos de la 5ª Norte y a los que se asentaban en las inmediaciones del Arroyo San Roque, fue en 1974. De esta inundación el biólogo Fredi Penagos García, profesor de la facultad de Biología, encontró el conjunto de fotos de autor anónimo,^[5] que se presentan a continuación.²

² En este mismo año se registraron lluvias torrenciales que causaron inundaciones en San Cristóbal de las Casas, lo que obligó a las autoridades a construir un túnel a través de un cerro para drenar las aguas de la cuenca cerrada que es el valle de Jovel, y para Tuxtla Gutiérrez a embovedar el San Roque.



Foto 1. No es posible ubicar el sitio exacto donde fue tomada esta imagen pero es notorio el nivel que alcanzó el agua.



Foto 2. Las personas sufrieron pérdida de sus propiedades, como se puede observar con esta camioneta. El agua llega exactamente a la altura de la ventanilla.



Foto 3. Algunas personas sufrieron crisis nerviosa, como esta mujer, que es ayudada por tres jóvenes a cruzar de un lado a otro de la calle para reunirse con sus familiares.

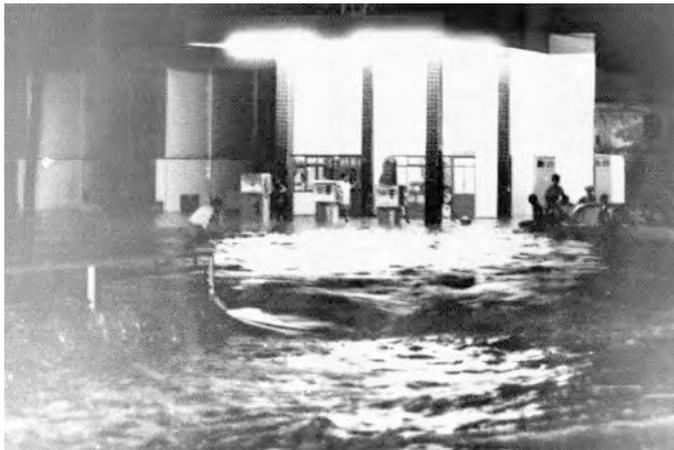


Foto 4. Esta parece ser la gasolinera de la 5ª Norte y 6ª Poniente, un establecimiento que siempre resulta afectado cuando el río se desborda, ya que se ubica en su margen izquierdo.



Foto 5. Aquí vemos un estacionamiento y tres coches atrapados en él, con el agua cubriendo hasta la altura de la defensa.



Foto 6. Vista general de una calle completamente anegada.



Foto 7. La fuerza de la corriente arrastró vehículos, como vemos en esta imagen, en la que un coche está a punto de estrellarse contra un árbol.



Foto 8. Aquí tenemos una referencia sobre un punto específico, la vulcanizadora Marín, enfrente de la cual estos jóvenes hicieron una cadena humana para ayudar a las personas a cruzar de un lado a otro o salvar algunas de sus pertenencias.

Inundaciones recientes

El saneamiento del río ha sido una preocupación recurrente en las autoridades estatales. El 7 de septiembre de 1972 el periódico *La Tribuna* informaba en una nota “MVS (*Manuel Velasco Suárez*) activó la solución al problema del Río “El Sabinal”. Exigió actividad en Recursos Hidráulicos. Para el 5 de octubre el mismo diario informaba de la realización de obras en El Río Sabinal, resultado “de las activas gestiones de Velasco Suárez”. A continuación la nota completa:

La regeneración de “El Sabinal”, obra sistemáticamente gestionada por el gobernador Velasco Suárez a fin de eliminar peligros de enfermedad en los habitantes de la capital del estado y embellecer la ciudad fue iniciada recientemente se emprendieron los trabajos en dos tramos comprendidos entre la 5ª Norte y 5ª Oriente por un lado, 5ª Norte y 6ª Poniente por el otro evitará inundaciones con el mejoramiento de la corriente de agua mediante el revestimiento y eliminará peligro de enfermedades con la supresión de la contaminación de las aguas y de los mosquitos. Desde el punto de vista urbanístico la regeneración de “El Sabinal” embellecerá la ciudad y podría constituir un paseo para los habitantes de Tuxtla Gutiérrez.

Se efectuará el revestimiento tanto de los taludes como de la base, que será una plantilla de 12 metros de ancho. Se construirán colectores de aguas negras a ambas márgenes con el propósito de eliminar la contaminación del río y prevenir enfermedades. La inversión será de recursos del gobierno del estado, recursos hidráulicos y del ayuntamiento. El proyecto abarca los 3 kilómetros de vía fluvial que se encuentran en la ciudad”.³

La realización de estas acciones obligó a que se iniciara un proceso legal de recuperación de áreas federales tanto en el cauce del río Sabinal

³ De las obras anunciadas para el Sabinal no llegó a realizarse ninguna, pero el arroyo San Roque si fue embovedado de la 8ª hasta la 2ª Sur, casi en su totalidad. Para entonces este arroyo se encontraba ya completamente convertido en basurero.

como del río San Agustín, en Terán, tal como veremos en mayor detalle más adelante.

El 11 de septiembre de 1984 se abatió sobre la ciudad un torrencial aguacero que causó daños a los habitantes de varias colonias localizadas junto al Sabinal. Un periodista publica lo siguiente:

Como resultado de las fuertes lluvias que han estado azotando en esta ciudad, vecinos del fraccionamiento Los Laureles y de la Unidad Habitacional Fovissste, que se encuentran ubicados en la zona norte poniente (sufrieron daños)... el agua alcanzó una altura aproximada de 60 centímetros en gran parte de esa unidad habitacional, inclusive dentro de las viviendas, causando daños materiales.

Como resultado de este problema, una representante de la colonia Fovissste se presentó ayer ante las autoridades correspondientes para informar de lo sucedido y en espera de ver resuelto su planteamiento ya que esas inundaciones pueden ser como consecuencia de una mala planeación en el sistema de alcantarillado. (Ventura, Fernando, *Cuarto Poder* 12/09, 1984).

El impacto de la inundación se redujo a dos colonias y esto hizo pensar que se trataba de un problema aislado y de carácter técnico, como el alcantarillado.

Ante el creciente riesgo de inundaciones las autoridades estatales revivieron el proyecto de Velasco Suárez. Finalmente se haría una intervención importante en el río Sabinal. De la 12ª Calle Poniente al Jardín Botánico, es decir, en un tramo de 18 cuadras, se empedró el lecho del río, se construyó un talud a ambos lados así como un andador. Para esto se tuvo que modificar al trazo de los límites de algunas propiedades, para dejar un callejón adoquinado y arbolado, a veces en un costado, a veces en el otro.

Se esperaba que estas obras sanearan el río y ofreciera a los ciudadanos un paseo urbano agradable y placentero. Pero las obras no estuvieron acompañadas de iniciativas de organización vecinal y otras acciones a nivel de la subcuenca para detener la degradación ambiental. Las obras mismas se volvieron una manifestación de esa degradación al

convertirse el cauce, ahora empedrado, en un basurero para la creciente población urbana; y los andadores en refugio de maleantes que cometían atracos con los que se aventuraban por la senda.

En 1988 se volvió a presentar otra inundación, que esta vez afectó a las colonias Plan de Ayala y Juan Crispín. En esta ocasión fue el río San Agustín el que se desbordó, dañando 77 casas y dejando a 320 personas damnificadas. También el arroyo San Roque se desbordó en este año, afectando una zona del barrio de San Francisco, donde dañó 14 casas, una de ellas destruyéndola completamente y dejando 70 damnificados.

A partir de 1996 el problema cobró otra dimensión, ya que su impacto físico y psicológico fue mayor. *La Voz del Sureste*, periódico de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, titula su nota principal del 26 de junio de 1996 de la siguiente manera:

Causa estragos desbordamiento del río Sabinal, el saldo un muerto, un herido, varios desaparecidos, 1400 viviendas dañadas, más de 30 vehículos afectados y cientos de damnificados. El agua alcanzó una altura de hasta 1.5 m en algunas zonas de Tuxtla Gutiérrez.

Por su parte, *El Cuarto Poder*, informaba que el 24 y 25 de junio de 1996 se produjeron torrenciales lluvias en Tuxtla Gutiérrez que desbordaron El Sabinal, siendo las colonias más afectadas El Vergel, San José Terán y El Triunfo (*Cuarto Poder*, 11/07/1996, p. 10).

Nótese que entre el nivel alcanzado por el agua en la Unidad Habitacional FOVISSSTE, que fue la más afectada en 1984, y la inundación de 1996, hay mucha diferencia: pasó de 60 cm a 1.5 m, además, esta vez se trató de una inundación generalizada en todas las partes bajas de la ciudad cercanas al río Sabinal y sus afluentes. Esto hizo que se tomara conciencia colectiva de la situación. Para este año ya habían surgido nuevos asentamientos a lo largo del cauce, como Rincón de los Lagos, Lum-ha, Esmeralda, Villas Catazajá, El Vergel, así como la intensificación de uso que se hizo de las áreas baldías de Terán, San José y Juan Crispín, áreas que siguen urbanizándose aceleradamente, alterando así los diferentes ciclos de la naturaleza, tales como el del agua en la Cuenca del río Sabinal.

En la inundación de 1996 se señaló que la causa fue el asolvamiento del cauce y su taponamiento por basura, árboles y puentes. El Ayuntamiento de la capital y el DIF repartieron colchones, camas, estufas y útiles de cocina para los damnificados. Los recursos erogados ascendieron a un millón de pesos, para ayudar a 900 familias que resultaron afectadas (*Cuarto Poder*, 11/07/1996, p. 10).⁴

En una nota de *La República en Chiapas*, firmada por Isaí Flores López-se dice:

El desbordamiento del río Sabinal se debió al asolvamiento y a la falta de un sistema de alcantarillado, que no permitió el fluido del agua hacia su cause (sic) y ocasionó desastres materiales y económicos. Adela Mijangos, Carlos Brindis, José Luis Cava, Marcos Hernández Solórzano, Martha González Pimentel, entre otras personas con domicilio en la quinta norte poniente, dijeron: “no podemos oponernos a la voluntad de Dios, pero creemos que el mayor problema se debe a la irresponsabilidad de las autoridades”.

Tuxtla Gutiérrez no cuenta con un sistema de alcantarillado que garantice la seguridad para los capitalinos en caso de una tormenta; las pocas alcantarillas que se tienen nunca están limpias y el azolve ocasionó mayor perjuicio. Indicaron que no es posible que año con año las autoridades municipales de Tuxtla Gutiérrez anuncien millonarias cantidades de dinero y no se haya invertido un solo peso en la infraestructura hidráulica.

Durante un recorrido por la zona afectada las familias tuxtlecas que perdieron en algunos casos, sus hogares, muebles, etcétera, se pronunciaron porque el Gobierno del estado, el Ejército Mexicano y la Presidencia Municipal instalen un albergue para la inmediata reubicación de los damnificados.

⁴ Como veremos más adelante en este mismo capítulo, el impacto de esta inundación llegó también a las autoridades, que abandonaron la visión parcial que tenían del problema y la respuesta de tipo asistencialista que había caracterizado su intervención en eventos anteriores, para tratar, esta vez, de ofrecer respuestas de fondo. Sin embargo, por falta de un enfoque teórico adecuado, se concretaron a demoler los puentes que tenían menor área hidráulica.

Las colonias más afectadas por la fuerte lluvia de la noche del lunes pasado son La Gloria, La Herradura, San José y Terán, así como varias zonas de las márgenes del río Sabinal, donde aproximadamente cayeron y resultaron afectadas por lo menos unas 800 casas y arrastrados un promedio de 500 vehículos.

El dolor, la angustia, la soledad y la desesperación se reflejó en los rostros de las familias que resultaron afectadas, pues el 90% de los establecimientos comerciales ubicados en las márgenes del mencionado río y calles y avenidas cercanas desde San José Terán hasta el Hospital de la Zona II del Seguro Social, obtuvieron (sic) grandes pérdidas con la inundación.

Gonzalo Morales Bonifaz, comerciante con puesto en el Tanguis “Tepi Tuxtla” de la quinta norte poniente estableció que las pérdidas son millonarias porque el 100% de la mercancía se perdió; algunas se las llevó la corriente y otras se quedaron en el interior de las casetas pero no se pueden comercializar.

Mientras tanto, habitantes de La Herradura, Terán, San José y La Gloria, hicieron saber que agentes de la Coordinación General de Seguridad Pública hicieron acto de presencia en la zona afectada, pero “lejos de apoyarnos, a bordo de la patrulla número 250, realizaron labores de rapiña en perjuicio de los afectados”.

Se pudo constatar el domicilio que se localiza junto a la casa San Marco para el Apostolado Seglar, en la entrada al Club Campestre, donde el anciano de 86 años de edad, de nombre Osvaldo Gutiérrez Galdámez, pereció ahogado en el interior de su domicilio y luego arrastrado por las aguas del Río Sabinal, así como Wenceslao González, de 60 años de edad recibió descargas eléctricas. Además, extraoficialmente existían hasta la tarde de ayer 4 personas desaparecidas.

Mientras tanto, un vocero de la Cruz Roja reportó que la mañana de ayer 17 personas habían sido llevadas a esa institución en carácter de damnificados, pero a eso de las 10 de la mañana voluntariamente abandonaron el nosocomio para ir a atender sus domicilios que fueron averiados por las lluvias y las aguas del Sabinal.

Por otra parte, en las escuelas administradas por la Secretaría de Educación, se registraron daños de filtración de agua, lodo y basuras

en la “Enrique Rodríguez Cano” (Calzada Aeropuerto y Carretera Panamericana), “Gustavo Díaz Ordaz” (6ª. Poniente y 5a. Norte) “Ángel Albino Corzo”, Centro Pedagógico 1 y 2 y Centro de Capacitación Laboral “Francisco I. Madero”.

En lo que se refiere a las escuelas administradas por los Servicios Educativos para Chiapas, resultó afectada la escuela Secundaria Federal Joaquín Miguel Gutiérrez, ubicada frente a la Unidad Administrativa, también el plantel 13 del Colegio de Bachilleres, ubicado a unos pasos del río.

La ingeniera Luz de Alba Aquino Barrientos, Vocal Operativo del Programa de Rescate del río Sabinal, dependiente del Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, manifestó que se necesitan obras complementarias para canales pluviales y ampliación de cauce del río para evitar otra situación similar. Dijo que también se requiere considerar obras para el control de las aguas en la zona conocida como El Chupadero, en los límites de Tuxtla con Berriozábal. Indicó que en 1965 existió una situación extraordinaria como esta de 85 m³ de agua por segundo, no obstante la capacidad del río resistió porque es de 100 m³ de agua por segundo, sin embargo, de acuerdo a estudios, en esta ocasión el gasto llegó hasta 130 m³ por segundo, ocasionando el desbordamiento y la inundación... los recursos para continuar las obras de rescate del río no se han autorizado desde 1993, lo poco que se ha hecho es limpieza y desazolve.

Por otra parte, la gente hizo caso omiso de la convocatoria para no construir viviendas sobre zonas federales, principalmente en áreas muy cercanas al río, el resultado es triste, como lo podemos ver en San José y Terán. Se acordó con la Dirección del Registro Público de la Propiedad y del Comercio y la Dirección de Catastro del Estado, que no se de escritura a este tipo de asentamientos humanos, sobre todo en zonas de alto riesgo, pero la gente no escucha. “El río Sabinal, lo que hizo en esta ocasión es recuperar lo que es de él, o sea, el área hidráulica que necesita, la que todo mundo ha obstruido”. Confirmó el derrumbe y daños en por lo menos 800 viviendas a lo largo del Sabinal, donde se constató la incertidumbre en que se encuentran las familias damnificadas.

Cabe hacer mención que la mayoría de los damnificados manifestaron que lo que se necesita es la construcción de muros de contención así como una replanificación y reencausamiento del afluente, pero sobre todo se necesita responsabilidad por parte de las autoridades y la ciudadanía.

El Ejército inició labores de rescate, desazolve y evacuación. La población, a través de diversos organismos también participa en las labores de apoyo a las familias de damnificados, desde el rescate de sus pertenencias hasta la entrega de alimentos y víveres.

Es prudente destacar la necesidad de que las instancias correspondientes diseñen un programa para reencausar las corrientes del río Sabinal y evitar mayores problemas y que además se implemente un programa permanente de limpieza para evitar mayores desastres, si se hubiese tenido la visión de continuar con las labores de rescate del río, que incluyera la limpieza y desazolve total, se habría evitado el desastre... se observaron familias con crisis de histeria durante la madrugada de ayer martes, sobre todo cuando veían que sus pertenencias, inclusive animales domésticos, eran llevados por la corriente. El río cobró venganza por las irresponsabilidades ciudadanas y oficiales (La República en Chiapas, 26/06/1996, p. 1, 45- 47).

Implementan DN-III para ayudar a los damnificados de lluvias de Tuxtla.

“El ejército mexicano puso en marcha el Plan DN-III ante los daños ocasionados por las fuertes lluvias registradas durante las últimas horas, en las que ha resultado una persona muerta y 35 lesionadas.

El subjefe operativo de la VII Región Militar, Ezequiel Carlos Hernández Méndez, informó que en dicho operativo participan 600 efectivos militares para ayudar a los habitantes de las 1440 viviendas afectadas por el meteoro.

Durante un recorrido por las 12 colonias dañadas comentó que la ayuda de los soldados consiste en atender a los damnificados y realizar maniobras de remoción de escombros, drenar viviendas y ayudar a personas que quedaron atrapadas en sus casas.

Hernández Méndez señaló que los daños son cuantiosos y precisó que se realiza un censo de la población afectada para conocer con exactitud los daños ocasionados por las lluvias.

Indicó a su vez que personal del DIF distribuye alimentos y despensas a las familias afectadas en San José Terán, en donde, según los informes, se desplomaron 20 casas de adobe.

Mencionó que en las colonias donde hubo necesidad de desalojar familias se implementó un operativo conjunto de vigilancia con las policías, para evitar saqueos. La CNA reportó que se han cuantificado 1400 casas y comercios afectados. La dependencia precisó que en los últimos siete días se ha registrado una precipitación pluvial de 187.7 mm, es decir, tres veces más de lo normal. Mencionó que el Sabinal se desbordó en un tramo de 6 kilómetros y medio, de II que tiene dentro del área urbana...

La CNA informó que el nivel del agua alcanzó hasta los dos metros de altura y en algunos casos rebasó hasta el primer piso. La SEP informó que se suspendieron las labores en 5 planteles que resultaron afectados. De los 35 lesionados, II ameritaron ser hospitalizados, informó la Cruz Roja. Los rescatistas de esta institución rescataron en total a 320 personas de la corriente. El Presidente del Ayuntamiento Enoch Araujo informó que se empezaron a repartir unas 1500 despensas, además se instalaron puestos de socorro y se enviaron brigadas médicas móviles. Mientras tanto, maquinaria pesada del ejército y de Obras Públicas remueven los escombros que dejaron a su paso las aguas del río, que arrasó con lodo, árboles, bardas y automóviles (*La República en Chiapas*, 26/06/1996, p. 47).

La inundación de octubre de 2003

La primera semana de octubre de 2003 la tormenta tropical Larry azotó las costas orientales de México, llegando sus efectos hasta las tierras del interior. Como producto de la misma, los días 5 y 6 de octubre, la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, así como algunas localidades de Berriozábal y San Fernando, sufrieron uno de los peores desastres que se tenga memoria.

El río Sabinal y sus afluentes inundaron 40 colonias y ejidos de la capital de Chiapas, causando daños a la población civil y afectaciones a la infraestructura urbana de la capital. El saldo fue de 25 mil afectados y 3 mil damnificados, así como pérdidas cuantiosas. Según una nota de un periódico local, el desbordamiento se debió a los escurrimientos descendentes de San Fernando, Ocozocoautla y Berriozábal (*Cuarto Poder*, 7/10/2003).

Según datos oficiales proporcionados por la Dirección de Protección Civil del Estado, los daños en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez fueron los siguientes:

Tabla 3. Tuxtla Gutiérrez, 2003, Viviendas dañadas por la tormenta tropical “Larry”

1	Viviendas con daño menor (imip)	2,214
2	Viviendas con daño parcial	197
3	Viviendas con daño total	273
4	Viviendas para reubicación	109/45
Para las 64 familias que no han aceptado su reubicación se llevará a cabo un operativo especial del Gobierno del Estado y Gobierno Municipal		

FUENTE: *Subsecretaría de Protección Civil, Chiapas.*

Entre las colonias más afectadas estuvo El Vergel, donde más de cincuenta viviendas fueron dañadas y varias familias pasaron momentos de angustia. Un caso especial fue el de la familia Aguirre, que quedó atrapada en su vivienda durante varias horas. Aproximadamente a las dos de la tarde, los reportes eran confusos, los cuerpos de rescate no se daban abasto para el salvamento o rescate de los afectados. Finalmente, Guillermo, el pequeño hijo de la familia de tan solo 8 años de edad fue rescatado por elementos de la Agencia Estatal de Investigación, quienes se sumaron a los cuerpos de rescate oficiales y voluntarios. Esta familia perdió todo el patrimonio que había hecho durante los 10 años que lleva de construida esta colonia.

Otras familias en igual situación fueron la de Juan Armando Molina, con domicilio en el número 380, Marlene Vázquez con domicilio en el número 364, Omar Rodas con domicilio en el número 350, y varias más.

Gente triste y desamparada se vio ese día sobre la calle, observando el desastre que habían sufrido.



Foto 9, Tuxtla Gutiérrez, vivienda de adobe completamente destruida por la inundación de 6 de octubre de 2003 (Fuente: Subsecretaría de Protección Civil)

Por su parte, al menos un 20% de alrededor de mil comerciantes afiliados a la Cámara de Comercio de Tuxtla Gutiérrez resultaron afectados por la inundación. El presidente de la Canaco-Tuxtla, Héctor de la O Santana indicó que el sector comercio afectado por las inundaciones va desde la tercera norte, hasta la quinta y sexta norte (en sentido transversal) y desde Juan Crispín y San José Terán (en sentido longitudinal). El dirigente indicó de la Canaco que los daños al comercio fueron en los giros de alimentos, abarrotes, materiales para construcción, ropa de vestir, ferreterías y gasolineras (Durante López, Leonel, *Diario de Chiapas*, 7/10/2003).

El impacto entre la población de los dos eventos últimos ha sido cuantitativa y cualitativamente diferente con respecto a los anteriores, ya que no solamente causó más daños materiales sino que la magnitud de los mismos permitió el surgimiento de una organización entre los habitantes de las unidades territoriales del cauce del río Sabinal.

Hasta antes de 1996, las inundaciones siempre habían sido parciales, ya que se habían inundado áreas específicas a lo largo del cauce, es decir, solamente aquellas colonias ubicadas en las zonas más próximas y con muy poca pendiente. Debido a esto las autoridades respondían de manera parcial ante el problema, tratando de resolverle la situación solamente a los afectados, con acciones tales como el desazolve y limpieza de basura del cauce antes de la temporada de lluvias.

La inundación de octubre de 2003 fue aún mayor, ya que todas las colonias y fraccionamientos junto al cauce y en sus inmediaciones sufrieron daño total o parcial. Por señalar solamente unos ejemplos, en Rincón de los Lagos son 69 viviendas y todas se inundaron, en Villas de Catazajá, un fraccionamiento privado de interés medio, son 12 casas y todas se inundaron, en Jardines de Tuxtla se tienen alrededor de 200 viviendas y generalmente sólo se inundan las más cercanas al río, pero en octubre de 2003 el agua llegó hasta el parque de la colonia, donde alcanzó una profundidad de 10 cm, por lo que la mayoría de los vecinos fueron afectados, sino directamente si de manera psicológica. En el tramo que va de la Calzada Ignacio Zaragoza a la Privada Magnolias, en la zona donde se ubicaba el antiguo rastro municipal, son 154 viviendas las que resultaron afectadas (Comunicación personal de representantes de Coalición de Vecinos Afectados por las Inundaciones, 12/2004).

Es evidente que cada colonia o fraccionamiento, y aún, cada familia ha vivido estos eventos con diferente grado de dramatismo. Por ejemplo, la inundación de octubre de 2003, en la cerrada Villas de Catazajá, por la mañana del 6 de octubre los vecinos se dieron cuenta que el dren pluvial que pasa junto al fraccionamiento llevaba agua como aproximadamente a la mitad de su capacidad ya que había estado lloviendo de manera intermitente durante la mayor parte de la noche anterior, se alarmaron pero sin llegar al pánico. Sin embargo, para la tarde de ese mismo día un vigilante les avisó que el arroyo San Agustín, que pasa por detrás del fraccionamiento, estaba por desbordarse en ese lugar y que en la colonia Jardín Corona, contigua hacia el nororiente, ya se estaba desbordando. En ese momento los vecinos subieron sus cosas a la se-

gunda planta y abandonaron las viviendas, justo antes de que colapsara la barda que separaba el fraccionamiento del cauce.

La magnitud de los acontecimientos hizo que tanto las autoridades como la población afectada adquiriera una visión de conjunto de la situación, problema cuya dimensión requiere de un plan de acciones programadas y coordinadas, con efectos a corto, mediano y largo plazo. A partir de 1996 no solamente se redujo a 7 años el período de recurrencia de las inundaciones, sino que se intensificó su impacto, obligando a los vecinos a unirse para buscar una solución definitiva y, lo más importante, colectiva.

En efecto, en 1996 surgió el primer embrión de una organización de vecinos afectados por las inundaciones. Una de las primeras colonias donde surgió fue en Rincón de los Lagos. En 1996 hubo allí un descontento generalizado entre los vecinos de la colonia y le reclamaron al fraccionador, uno de cuyos hijos vivía en la colonia, pero este les contestó que él tenía toda su documentación en regla, es decir, contaba con todos los permisos correspondientes de las autoridades para fraccionar. En 1996 fueron dos inundaciones que afectaron Rincón de los Lagos, una en junio y la siguiente 40 días después.⁵

Con la inundación de 2003, la organización creció y se constituyó en Coalición de Vecinos Afectados por las Inundaciones, con el objetivo de estar más vigilantes de las acciones que afectan al río Sabinal. Hacían recorridos por el cauce para detectar nuevas construcciones que invaden el cauce, tiraderos de basura, drenajes clandestinos, etcétera y cuando detectan anomalías las denuncian a las autoridades y dan seguimiento a la respuesta de estas. Hoy día las autoridades se enfrentan a una población más consciente, más informada e instruida, que busca tener más presencia en los órganos de decisión.

⁵ Protección Civil organizó cursos de capacitación sobre qué hacer en caso de desastre: les enseñaron qué significan los colores de las alertas, ubicar los puntos de reunión, detectar zonas de alto riesgo para evacuar primero, control de energía eléctrica, cerrar el gas; además les dieron dos palas, impermeables, botas y lámparas.

Conocimiento local sobre las inundaciones y su manejo

Las inundaciones son un fenómeno recurrente, por lo menos en Tuxtla Gutiérrez, como ha quedado demostrado con lo dicho hasta este momento, pero antes de la última década los períodos de retorno eran muy largos y los daños eran aislados, de manera que no existía una cultura de prevención del riesgo entre la población.

Sin embargo todo esto está cambiando, los períodos de retorno de las avenidas se han acortado dramáticamente, afectando de manera particular a Tuxtla Gutiérrez, donde la población ha ido tomando consciencia cada vez más de esta situación. Es importante aquí hacer las siguientes consideraciones:

1) la población es consciente del riesgo de establecerse junto al cauce de un río o arroyo pero ocupa estas áreas por tener necesidad de suelo para vivienda, como en Las Granjas, Caminera, Potinaspak, Shanká; colonias en las que las construcciones han reducido el cauce de ríos y arroyos o lo han embovedado;

2) existen fraccionadores que aprovechan el bajo costo de estas áreas para construir vivienda masiva y de interés medio, obteniendo de ellas una rentabilidad adicional al vender a los usuarios finales a costos elevados, como en los casos de las colonias Villas Catazajá, Rincón de los Lagos, Lum-ha, La Esmeralda, Parque Madero, El Vergel, Maya, FO-VISSSTE, Chapultepec; entre otras;

3) urbanizaciones habitadas por gente de altos ingresos, como Los Laureles, Jardines de Tuxtla, Moctezuma y Las Arboledas, donde los propietarios compraron lotes baldíos junto a los cauces.

En cada uno de estos casos la respuesta ante una inundación es diferente. Para los que se ubican en el primer rubro el impacto es mayor ya que se quedan prácticamente en la calle y tienen que recibir asistencia en albergues del gobierno, tienen poca capacidad para llevar a cabo respuestas preventivas que impliquen costos económicos, tales como reforzamiento de bardas, construcción de diques o canales y otras de este tipo. Sus respuestas más bien son en el sentido de fortalecer lazos solidarios de ayuda mutua vecinal sin esperar gran cosa del gobierno ya

que por lo general carecen de las relaciones y el conocimiento que les permita captar la ayuda oficial. Aquellos que se clasifican dentro del segundo grupo generalmente son profesionistas o burócratas, miembros de la clase media, por lo que cuentan las relaciones y conocimientos que les permite atraer la ayuda del gobierno o por lo menos, tienen capacidad de organización para presionar para que sus demandas sean atendidas, es el caso de los miembros de la Coalición de Afectados por las Inundaciones del río Sabinal, que agrupa a personas de esta categoría social y habitacional. Finalmente, los habitantes de las colonias de altos ingresos resuelven su problema de manera individual, echando mano de sus propios recursos. La recurrencia del fenómeno ha hecho que en todos los casos haya conciencia del riesgo, pero mientras unos aceptan su destino confiando en la solidaridad de sus vecinos y parientes para sobrevivir, otros organizan grupos de presión o bien ponen en venta sus propiedades, o las abandonan o construyen canales o refuerzan sus bardas.



Foto 10. Interior de una residencia abandonada en La Esmeralda. El agua alcanzó una altura superior a los 2 m.

Diferentes intervenciones del Estado

A raíz de la inundación acontecida en 1984, como se relató líneas arriba, el gobierno estatal inició un programa de obras que incluía empedrado del cauce y construcción de taludes, construcción de andadores, áreas de servicios públicos y construcción de vialidades primarias. Las obras abarcaron un tramo desde la 12ª Poniente hasta el Jardín Botánico. La amplitud de las metas y la falta de recursos económicos hicieron que el proyecto quedara a la mitad, ya que fue necesario cancelar algunas obras y dejar inconclusas otras.

Dentro de las áreas de servicios públicos en el río Sabinal, se tenían contemplados dos, que se localizarían en: a) 5ª Norte y 3ª Poniente; b) 5ª Oriente y 4ª Norte. La primera contaría con tres módulos, siendo el primero revistería, y el segundo y tercero, refresquería y taquería respectivamente; además contaría con una zona para limpieza de calzado, servicios sanitarios para hombres y mujeres. La segunda área de servicios, que estaría completamente destinada a servicios telegráficos y de correos, se quedó en proyecto porque fue una de las obras que se cancelaron.

La zona de vialidades estaría localizada en la continuación de la 5ª Oriente siguiendo el cauce del río Sabinal, hasta conectarse con la 3ª Norte, necesitando para su construcción dos puentes, uno sobre el río Sabinal y el otro sobre el río San Roque. Esta calle y los puentes si se construyeron, agilizando el paso de poniente a oriente y viceversa, y desde el norte al centro de la ciudad.

Para construir la zona de andadores, cuyo proyecto existía desde 1973, fue necesario hacer afectaciones a propiedades privadas, es decir, todos aquellos terrenos y construcciones que invadían zona federal, además de algunos predios particulares que por proyecto fueron susceptibles de afectación. Los propietarios fueron reubicados o compensados de otra forma según el grado de afectación. A continuación se presenta una lista de las personas que resultaron afectadas, así como de los daños y compensaciones.

Tabla 4. Río Sabinal, afectaciones por recuperación de zona federal en 1984

No.	NOMBRE	UBICACIÓN	AFECCIÓN/ COMPENSACIÓN
1	Ma. de Jesús Vélez	5ª. Nte. / 3ª y 2ª poniente	Mano de obra de instalación hidráulica, sanitaria y eléctrica, láminas y escalera eléctrica.
2	Humberto Trejo Gómez	Calle Central y 5ª Norte	Barda y cuarto/ 2 cuartos
3	Oscar Gordillo Román	No hay dato	Barda y terreno / cuarto de 35 m2, con techumbre de lámina y sin acabados.
4	José Guillén Vidal	5ª Norte y 5ª Oriente	Construcción y terreno / vivienda nueva en otro sitio aportado por el afectado.
5	Adrián Ramírez (departamentos)	6ª. Oriente Norte s/n	No obtuvo apoyo
6	Alicia Aguilar de Hernández	3ª. Norte Oriente No. 66	Demolición total / Reconstrucción en el mismo terreno
7	Lic. Ramiro Mota Velasco	6ª Oriente y 3ª Norte	Afectada por una vialidad en su totalidad / reubicación en otro lugar.
8	Centro Social DIF	No hay dato	Salones / reubicación, barda y muro de contención.
9	Gustavo Jiménez (Taller de herrería)	8ª. Oriente Norte No. 341	No hay dato
10	Crisóforo Camacho	No hay dato	Demolición total / construcción de una nueva
11	Señora (sin nombre especificado)	9ª Oriente	Demolición total/ Construcción
12	Conjunto de viviendas	3ª Norte y 6ª Oriente	Por ampliación de la diagonal 3ª. Norte Oriente resu taron afectadas con un remetimiento de 3 a 4 m.
13	Enrique Moreno	4ª Norte Oriente s/n	Demolición total / materiales de construcción
14	Bodegas de café	Frente al IMSS	Demolición parcial / reconstrucción y materiales de construcción
15	Las últimas dos viviendas	No hay dato	En esta parte el río es amplio y se construyó un muro de contención para evitarlas.

Fuente: A partir de SDUOP, Plan de Obras 1984,

A partir de la inundación de 1996 la intervención ha buscado encontrar remedio a la causa del problema. Lo primero fue suponer que la capacidad del cauce estaba siendo reducida por puentes construidos, algunos de ellos, a fines del siglo XIX. Fue así como encargaron un estudio del área hidráulica (AH) de cada uno de los puentes sobre el río Sabinal, cuyo resultado se sintetiza en la tabla siguiente:

Tabla 5. Tuxtla Gutiérrez 1996, área hidráulica (AH) y ubicación de los puentes sobre el río Sabinal

No.	Ubicación	AH menor de 50 m ²	AH mayor de 50 m ²	AH óptima 100 m ²
1	3a. Norte, entre 1a. y 2a. Oriente, Terán	19.30 M ²		
2	1a. Sur, Terán	19.64 M ²		
3	1a. Norte Oriente, Terán	20.90 M ²		
4	1a. Sur Poniente Terán	22.40 M ²		
5	2a. Norte Terán	27.01 M ²		
6	2a. Oriente entre 3a. y 4a. Norte Terán	29.40 M ²		
7	8a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte	21.00 M ²		
8	5a. Norte entre Calle Central y 1a. Oriente	23.80 M ²		
9	5a. Norte Esq. 5a. Oriente	24.20 M ²		
10	1a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte	28.22 M ²		
11	7a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte	33.16 M ²		
12	9a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte	39.52 M ²		
13	4a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte	41.90 M ²		
14	4a. Norte entre 5a. y 6a. Oriente	42.30 M ²		
15	3a. Oriente entre 6a. y 7a. Norte	45.00 M ²		
16	12a. Poniente, Fuente el Magueyito	45.00 M ²		
17	6a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte	45.72 M ²		
18	3a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte	49.00 M ²		
19	Club Campestre, Terán		52.20 M ²	
20	3a. Poniente, Terán		54.75 M ²	
21	Blvd. Belisario Domínguez, Terán		72.80 M ²	

22	Calle Central entre 4a. y 5a. Norte		50.00 M ²	
23	2a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte		54.00 M ²	
24	11a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte		54.00 M ²	
25	2a. Oriente entre 6a. y 7a. Norte		55.44 M ²	
26	6a. Oriente Esq. Av. ciprés y 3a. Norte		56.74 M ²	
27	1a. Oriente Esq. 6a. Norte		59.22 M ²	
28	15a. Oriente a la altura del vivero de la SAGDR (forestal)		60.52 M ²	
29	11a. Oriente Nte. a la altura del Jardín Botánico y el IMSS		61.50 M ²	
30	4a. Oriente entre 6a. y 7a. Norte		62.00 M ²	
31	4a. Norte entre 8a. y 9a. Oriente		65.52 M ²	
32	Bldv. Fovisste II		80.08 M ²	
33	10a. Pte. entre 4a. y 5a. Norte		85.00 M ²	
34	Libramiento Norte Oriente		88,92 M ²	
35	Calz. Ignacio Zaragoza, ex Rastro Municipal		91.05 M ²	
36	Parque Joyyu Mayu Poniente		94.60 M ²	
37	15a. Poniente Nte., Col. Moctezuma			111.00 M ²
38	Parque del Oriente			117.00 M ²
39	16a. Poniente Norte y Parque de los Niños Héroes			139.00 M ²

Fuente: Atlas de Riesgos Municipal, Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2001.²

Vemos que 17 de los 39 puentes, equivalente al 43.58% del total, tenían una capacidad por debajo de la capacidad media del río, que es de 50 m²; 17 (43.58%) con capacidad de entre 50 y 100 m² y solamente 3 con capacidad por arriba de 100 m², que es la capacidad máxima del río.

La decisión tomada una vez conocidos los resultados del estudio fue demoler los de capacidad más reducida, obras que se ejecutaron entre 1997-1999.

Tabla 6. Tuxtla Gutiérrez, Puentes demolidos en el periodo 1997-1999

No	UBICACIÓN	AH 1997-1998	AH ACTUAL	AH DIFERENCIA
1	3a. Norte, entre 1a. y 2a. Oriente, Terán	19.30 M ²	100.00M ²	80.70 M ²
2	8a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte	21.00 M ²	97.50 M ²	76.50 M ²
3	5ª. Norte Esq... 5a. Oriente	24.20 M ²	80.00 M ²	55.80 M ²
4	1a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte	28.22 M ²	80.00 M ²	51.88 M ²
5	2a. Oriente entre 3a. y 4a. Norte Terán	29.40 M ²	100.00 M ²	70.60 M ²
6	7a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte	33.16 M ²	97.50 M ²	64.34 M ²
7	9a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte	39.52 M ²	97.50 M ²	57.98 M ²
8	4a. Poniente entre 4a. y 5a. Norte	41.90 M ²	97.50 M ²	55.60 M ²
9	4a. Norte entre 5a. y 6a. Oriente	42.30 M ²	80.00 M ²	37.70 M ²

Fuente: *Atlas de Riesgos Municipal*, Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2001²

Sin embargo, la inundación de 2003 se encargó de demostrar que demoler y ampliar esos 9 puentes no fue una solución definitiva. No obstante, parte de la respuesta a raíz de la inundación de 2003 es nuevamente demoler y ampliar otros puentes.

Los que se demolieron y reconstruyeron esta vez fueron los ubicados en la segunda, tercera, sexta, onceava y doceava poniente. También se construyó un nuevo puente en la colonia Jardines de Tuxtla, que comunicará el Boulevard Belisario Domínguez con la Carretera a Chicoasén, dándole a la ciudad una vialidad que se espera contribuya a aminorar la carga vehicular que hoy día soporta el boulevard, con los consecuentes embotellamientos. Este puente tampoco está concluido y según dicen los habitantes de la colonia Jardines de Tuxtla, la ubicación del mismo contribuirá a generar más inundaciones en las casas vecinas ya que tapa las escorrentías que del Mactumactzá bajan por la Calzada Ciro Farrera.

En Terán se construyó un puente en la 3ª Oriente, entre 3ª y 4ª Norte donde no existía ninguno, lo que obligó a modificar algunas vialidades en este lugar; así como otro puente más en Juan Crispín, sobre el río San Agustín, en la Calle Jalisco, conectando el centro de esta colonia con la Carretera Panamericana.

El sector de la construcción es uno de los rubros más importantes de la economía urbana. Obviamente el monto más importante de recursos en este sector proviene del Estado, alimentando a un conjunto de compañías constructoras locales y nacionales. Pero el sector privado también es muy activo transformando el espacio, no solamente en la instalación de equipamientos comerciales e industriales, sino también en lo que se refiere a vivienda. Hay constructoras especializadas en la edificación de viviendas, así como también actividad de la llamada autoconstrucción, que es llevada a cabo por los propios habitantes de la ciudad para satisfacer sus necesidades habitacionales. Este dinamismo necesariamente tiene una expresión territorial.

En 1992 se construyó el Libramiento Norte, conectando la zona nororiente de la ciudad con Juan Crispín y con la Carretera Panamericana en su salida a México. Este nuevo trazo amplió el área urbanizable hacia el poniente, donde se incluyen laderas de más de 30° de pendiente, y, de manera menos visible, la cabecera del valle hacia el poniente, en la frontera con los municipios de Berriozabal y San Fernando.

Apropiación de áreas federales por particulares

Para tener idea de cómo fue el proceso de apropiación privada del área federal en ambos márgenes del río Sabinal y sus afluentes, se relatará brevemente cómo se traspasó el control de la misma a particulares. Consideramos de interés incluir esta información porque expresa claramente una situación en la que se enlazan intereses privados y públicos, al tiempo que ofrece la imagen de una estructura de poder que básicamente se conserva intacta.

La zona federal de los ríos Sabinal y San Agustín, desde 1957 se estuvo cediendo a particulares a razón de 10 m contados desde la orilla del cauce, por todo lo que midiera de largo el terreno del propietario. En un

período de 22 años, que abarca hasta 1979, el gobierno federal, a través de la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos, dio un total de 91 permisos de ocupación de áreas federales. [6]

Casi la mitad de esos predios, de diferentes tamaños, fueron cedidos en el año de 1968. En los años siguientes, encontramos entre los beneficiarios a un exgobernador, el Gral. Francisco J. Grajales, cuya hacienda se encontraba al nororiente de la ciudad y que para esos años empezaba a ser alcanzada por la creciente expansión urbana. El general mismo, a través de un prestanombres de apellido Símuta, fue el principal agente productor de suelo urbano irregular en la década de los 70 y parte de la siguiente, al poner en el mercado de tierras urbano, las que pertenecían a su hacienda denominada Albania, la cual fue lotificada de manera espontánea, es decir, sin que hubiera una planeación urbana para la siembra de viviendas, infraestructura y equipamientos.

En 1971, el general Grajales, que fue gobernador de Chiapas en los años 1948-1952, solicitó y obtuvo a título gratuito una superficie de 6 mil 240 m², consistente en una franja de 10 por 624 m, paralela a la orilla del río Sabinal, en la que construyó una calle para darle valor a los predios del Fraccionamiento Parque Madero, que se formó precisamente en ese año y que en la actualidad es uno de los más castigados por las inundaciones ya que se localiza en un terreno plano y por debajo de la altura del cauce del Sabinal, justo frente a la confluencia del arroyo san Roque con el río Sabinal y a un costado de la desembocadura del arroyo La Pimienta. El permiso de ocupación de esa franja, aunque debió ser autorizado por el ingeniero Veytia, que era el Delegado de Recursos Hidráulicos en la entidad en 1971, lo firma el entonces presidente municipal de Tuxtla, el doctor Jesús Cancino Casahonda (*Lotes río Sabinal*, SDUOP).

En total una superficie 38861 m² de áreas federales de los ríos Sabinal y san Agustín fueron cedidas a particulares entre 1957 y 1979. De este total 1993 m² (5.12%) fue en las márgenes del san Agustín, en el municipio de Terán. La superficie de mayor tamaño fue concedida al general Grajales, como ya mencionamos, y el que menos obtuvo fue 35 m².

Respecto al uso que los beneficiarios de los permisos declararon como destino del área que recibieron, 10 de ellos lo destinaron a uso agrícola; 23 construyeron viviendas, la mayoría de bajareque, 24 sirvie-

ron para ampliar patios y jardines, uno fue para abrir una calle, el del general, y otros más para ampliar su propiedad. Para enero de 1973 la SRH inició la revocación de los permisos, con la finalidad de construir obras de saneamiento. Sin embargo, no todos los permisos fueron revocados, además de que en años posteriores a las obras mencionadas se concedieron nueve permisos más, 6 de los cuales en el mismo 1973 y el último en 1979, se trató de Gustavo Salazar Narváez, que recibió 203.5 metros cuadrados en una de las márgenes del san Agustín, en Terán, el día 19 de abril.⁶

Tabla 7. Tuxtla Gutiérrez, Beneficiarios de permisos de ocupación de áreas federales 1957-1979

No.	NOMBRE	M ²	FECHA	USO	RENTA ANUAL
1	Adalberto Palacios Gómez	1015.00	16/11/1957	Agrícola	5.00
2	Vicente Nanguelú	350.00	16/02/1960	Agrícola	7.50
3	Domingo Albores Morales	650.00, s. Agustín	22/04/1961	Agrícola	6.50
4	Yolanda Gibson de Ordóñez	570.00	04/05/1961		26.00
5	Domingo Albores Morales	650.00, s. Agustín	06/05/1961	Agrícola	6.50
9	Mercedes Liébana José	228.00	21/11/1963	Vivienda	91.20
7	Alejandro González Aguilar	243.00	21/11/1963	Vivienda	97.00
6	Félix Rito de la Rosa	283.00	21/11/1963	Vivienda	113.20
8	José Gutiérrez Velásquez	290.00	21/11/1963	Vivienda	58.00
10	Benjamin Lisandro Gutiérrez	805.00	19/02/1964	Vivienda	125.30

⁶ En virtud de que no se tiene un conocimiento de la situación actual, es importante hacer un estudio específico de la situación que guarda el área federal del río Sabinal y sus afluentes, dado que en la mayoría de los casos los propietarios de los inmuebles aquí mencionados han cambiado, así como el uso de dicha área.

Notas para una historia ambiental del río Sabinal (1921 - 2005)

No.	NOMBRE	M ²	FECHA	USO	RENTA ANUAL
11	Ma. Elena Torres de Estrada	192.00	09/03/1964	Vivienda	28.80
12	Ricardo Hinojosa Rubio	350.00	02/07/1964	Vivienda	127.60
13	Ma. de Lourdes Camacho	200.00	03/09/1964	Patio	100.00
14	Consuelo Caballero Corzo	150.00	20/09/1964	Patio	
15	Carlos Rivero Mendoza	190.00	23/09/1964	Patio	95.00
17	Miguel Sol Aguilar	200.00	05/10/1964	Patio	100.00
16	Elizabeth y Amparo Gutú	240.00	05/10/1964	Patio	62.00
18	Juana Nelly Torres Sarmiento	340.00	06/10/1964	Patio	170.00
19	Ángel Ramírez Martínez	190.00	16/11/1964	Patio	138.00
20	Ma. Elena Castillejos del Pino	285.00	17/11/1964	Patio	142.50
21	Ma. De Jesús Gutiérrez	80.00, s. Agustín	01/06/1967	Casa maderas	20.00
22	Flor de María Cancino	450.00	26/02/1968		225.00
23	Rosario Pérez Chanona	180.00	29/02/1968	Casa bajareque	90.00
24	Ma. Elena Orozco de Rincón	480.00, s. Agustín	25/05/1968	Agrícola	10.00
25	Francisco Morales Palacios	50.00	25/06/1968	Patio	25.00
26	Olga Sol Aguilar	84.00	25/06/1968		42.00
28	René Gutiérrez Culebro	160.00	26/06/1968		80.00
27	Raúl López Zavaleta	220.00	26/06/1968		110.00
29	Carlos Unda Sumuano	120.00	29/06/1968	Barda	60.00
30	Juan José Borges Juárez	560.00	30/06/1968	Patio	140.00

No.	NOMBRE	M ²	FECHA	USO	RENTA ANUAL
31	Carlos García Narcía	240.00	01/07/1968		120.00
32	Trinidad Hidalgo Esquinca	560.00	01/07/1968	Patio y jardín	200.00
33	Felipa Sarmiento Álvarez	87.75	02/07/1968		43.75
34	Elpidia Pérez de Cruz	130.50	02/07/1968	Patio	65.00
35	Adelina González Aguilar	105.00	03/07/1968	Patio	52.50
37	Manuel Sol Sánchez	109.00	08/07/1968		54.50
36	Porfirio Morales Guillén	150.00	08/07/1968		75.00
38	Ángela Escobar	45.00	09/07/1968		0.00
39	Ignacio Jiménez Ovilla	200.00	10/07/1968		100.00
40	Aurelio Penagos Lara	140.00	17/07/1968		70.00
41	Melitón Hernández Pérez	352.00	17/07/1968		176.00
42	Isabel Mota vda. de Mota	4910.00	23/07/1968	Agrícola	50.00
43	Ramón Ortega Torres	100.00	24/07/1968		50.00
44	Eloisa García Culebro	703.00	24/07/1968		351.50
47	Pablo Sáyago García	115.00	26/07/1968		57.50
45	Ángela Díaz Hernández	170.00	26/07/1968		85.00
46	José Raquel Aquino Aguilera	200.00	26/07/1968		100.00
48	Elena Hernández de Solís	400.00	26/07/1968		100.00
49	Serafin Jiménez	100.00	29/07/1968		50.00
50	Josefa de la Cruz	106.00	29/07/1968		53.00

Notas para una historia ambiental del río Sabinal (1921 - 2005)

No.	NOMBRE	M ²	FECHA	USO	RENTA ANUAL
51	Humberto Miranda Gallegos	320.00	30/07/1968	Casa bajareque	160.00
52	María Luisa Narváez de Morales	1136.00	03/08/1968		568.00
53	María Luisa Narváez de Morales	1136.00	03/08/1968		568.00
54	Ramiro Camacho	22.42	05/08/1968		11.25
55	Rafaela Grajales Córdova	101.50	05/08/1968		0.00
56	Pedro Hernández	270.00	05/08/1968		54.00
57	Zoila López Rincón	50.00	10/08/1968	Galera	25.00
58	Enrique Valero Arámbula	500.00	22/08/1968		250.00
59	Eluteria Gutiérrez de Hernández	165.00	25/08/1968	Patio	82.50
60	Josefa Aragón Sol	40.00	30/08/1968	Patio	20.00
61	Martha Torres de Escobar	310.00	30/08/1968	Patio	155.00
62	Daniel Jiménez Gutiérrez	200.00	13/09/1968	Patio	100.00
63	Boanerges Pinto Cancino	219.00	11/10/1968	Patio	109.00
64	Amadeo Gómez Palacios	105.00	26/11/1968	Casa bajareque	52.50
65	Gustavo Cundapí Megchún	35.00	07/01/1969	Patio	17.50
66	Federico Ocaña Martínez	40.00	24/04/1969	Casa bajareque	20.00
67	Manuel León Jamayot	580.00, s. Agustín	11/07/1969	Casa bajareque	120.60
68	Luis Castellanos Guzmán	88.30	04/12/1969	Casa bajareque	44.15
69	María Luisa Cruz López	124.00	19/01/1970	Casa bajareque	62.00
70	Pablo Urbina León	100.00	27/01/1970	Casa bajareque	50.00

No.	NOMBRE	M ²	FECHA	USO	RENTA ANUAL
71	Esther Vicente Hernández	100.00	27/01/1970	Casa bajareque	50.00
73	Manuel Gutiérrez Gómez	136.00	30/01/1970	Galera	68.00
72	Eduardo Gutiérrez Gómez	182.00	30/01/1970	Galera	91.00
74	Mercedes Hernández Pérez	124.00	04/04/1970	Casa bajareque	31.00
76	Guadalupe Pérez López	40.00	22/04/1970	Casa bajareque	24.00
75	Arminda Bedrán Santiago	123.00	22/04/1970	Casa bajareque	61.50
77	Rafael Cancino Rodríguez	240.00	12/05/1970	Patio	120.00
78	Pedro Tondopó Gómez	250.00	02/06/1970	Casa bajareque	125.00
79	Dr. Carlos T. Culebro	3110.00	09/07/1970	Patio	622.00
80	Luis Estrada Rodríguez	250.00	10/07/1970	Patio	50.00
81	Isabel Herrera Rodríguez	80.00	28/07/1970	Casa bajareque	40.00
82	Aura Martínez de Rodríguez	662.00	27/10/1970	Patio	165.50
83	Gral. Francisco J. Grajales	6240.00	28/07/1971	Calle y árboles de ornato	0.00
87	Sebastián Juárez López	140.00	09/05/1973	Agrícola	10.00
84	Felipe Alias Álvarez	190.00	09/05/1973		60.00
85	Francisco Jiménez Chambé	200.00	09/05/1973	Agrícola	10.00
86	Luciano Sol Gómez	615.00	9/05/1973	Agrícola	10.00
88	Delina Velásquez Flores	160.00	10/05/1973	Patio	70.00
89	Jorge Tipacamú Gómez	322.00	15/11/1973	Vivienda	128.80
90	Pedro Jonapá Ovando	1722.00	03/10/1975	Agrícola	25.00

No.	NOMBRE	M ²	FECHA	USO	RENTA ANUAL
91	Esc. Prim. David Gómez	765.00	08/03/1977		0.00
92	Gustavo Salazar Narváez	203.50, s. Agustín	19/04/1979		30.00
		38861.00			8416.65

Fuente: A partir de Secretaría de Recursos Hidráulicos, Lotes río Sabinal, SDUOP (actualmente SEOPyV) ^[6]

La gestión integrada del territorio

Por necesidad, por interés o por ignorancia, los diferentes grupos sociales lentamente degradan el ambiente que los rodea, incrementando sus vulnerabilidades o potenciando amenazas, sean de origen humano o natural. Las acciones que se toman sobre el medio y el uso que se hace de los recursos naturales, están guiados por el interés inmediatista de responder a necesidades; pero esta forma de manejo genera efectos que se van acumulando, hasta que viene la sorpresa, el desastre llamado “natural” que nadie esperaba, pero que se construyó socialmente día a día y año tras año.

Una vez establecida esta premisa, es coherente plantear que si la actividad humana es la principal causa de la degradación ambiental, la cual a su vez prefigura los desastres “naturales” futuros, es, por lo tanto, factible prevenirlos y evitarlos normando los usos y destinos del suelo, pero sobre todo, aplicando estrictamente dichas normas.

Cuando un sistema natural produce un evento necesario para mantener su equilibrio, pero que afecta el funcionamiento normal de un sistema social, se considera dicho evento como peligroso y sus consecuencias como un desastre. Si, por el contrario, es un sistema social el que desequilibra un ecosistema, mediante la contaminación, la deforestación y otras actividades, usualmente las consecuencias diarias no son vistas como microdesastres hasta que estas se manifiestan en un evento catastrófico, entonces se percibe el desastre (Fernández y Rodríguez, 1996:18, 19)

El enfoque adoptado obliga a hacer un análisis del conjunto de la cuenca. En ese sentido es importante señalar que uno de los principales problemas urbanos que presentan las ciudades de la cuenca es el de la escasez de agua. Los habitantes de las ciudades ubicadas dentro del área de la cuenca del río Sabinal son abastecidas por sistemas cuyas fuentes se están agotando o cada vez están más contaminadas y es más costoso purificarla. De tal manera que por un lado existe el peligro de las inundaciones en tiempo de lluvia y por el otro la escasez de agua para consumo humano durante el estiaje. Se considera entonces que es necesaria una gestión del ciclo del agua, es decir, la situación exige una gestión ambiental integrada del territorio.

El reconocimiento de la necesidad de una gestión integrada del territorio representa un cambio decisivo para plantearse cuál es el marco institucional adecuado para llevar a cabo dicha gestión. En otras palabras, se trata de abrir el debate sobre cuál es la serie limitada de acciones -incluyendo en esa serie las condiciones bajo las que se acepta la existencia de transacciones de agua (el agua como una mercancía)- y cuáles son los costos, en el sentido de derechos, que son compatibles con la gestión del ciclo del agua y, por lo tanto, con el mantenimiento de las cuencas y de los ríos, entendidos como tramas territoriales donde el agua interviene (Pineda, *et. al.*, 1995:204).

El estudio de uso del suelo de la cuenca no solamente abre la posibilidad de identificar las posibles causas de las inundaciones, sino, lo que es más importante, permite proponer cambios en la gestión territorial de la misma, encaminados a generar las condiciones ambientales que permitan una mayor captación y almacenamiento de agua durante la época de lluvias, de tal manera que se cuente con excedentes para satisfacer la demanda urbana y agrícola durante la sequía, e incluso, para usos deportivos y recreativos.

Este enfoque necesariamente trae aparejado un énfasis en la organización social y el desarrollo territorial, entendido como el fortalecimiento de la sociedad regional. Esto quiere decir que hay que revisar cuidadosamente aquellas iniciativas que tiendan a transformar los usos del suelo y que generalmente provienen del sector privado de la construcción, interesado exclusivamente en obtener el máximo de ren-

tabilidad de los terrenos, tales como fraccionamientos e instalaciones comerciales, industriales y extractivas, que tienen un fuerte impacto ambiental. No se trata de oponerse al desarrollo, se trata de que la población tome parte en dicho desarrollo, y no sólo se le haga víctima de las consecuencias negativas de las decisiones privadas.

En este sentido, se favorecerían iniciativas que tiendan a construir formas de participación ciudadana, mediante las que la población se vaya formando técnica y políticamente, de tal manera que se generen las condiciones sociales que hagan posible la protección del medio ambiente, tanto mediante la aplicación de normas, pero principalmente por la educación y la aceptación de cada ciudadano, institución u órgano de gobierno que habita o realiza su actividad en esta pequeña cuenca, de su responsabilidad en la conservación del ecosistema.

Por lo tanto es necesario desplegar un conjunto de medidas cuya realización sea de carácter obligatorio, es decir, su no observancia desencadenará la aplicación de medidas de carácter punitivo. Mucha de esta legislación ya existe, otra, más específica, habrá que legislarla. Es necesario también que las organizaciones de barrio y comités de una u otra naturaleza participen en la administración de los recursos del territorio.

Referencias Bibliográficas

1. Arruda, Gilmar, 2006, “Historia de ríos: ¿Historia ambiental?”, en *Signos históricos*, Revista semestral del Departamento de Filosofía, UAM-Iztapalapa, México.
2. Ayuntamiento Municipal De Tuxtla Gutiérrez, Dirección De Protección Civil Municipal, 2001, *Atlas de Riesgos Municipal*, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
3. Mérida Mancilla, Arturo, 2000, *Cien años de evolución urbana en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (1892-1992)*, Universidad Autónoma de Chiapas-H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
4. Palacio, Germán, 2002, “Historia tropical: a reconsiderar las nociones de espacio, tiempo y ciencia”, en Germán Palacio y Astrid Ulloa, *Repensando la naturaleza*, Universidad Nacional de Colombia.
5. Penagos García, Fredi Eugenio, *Impacto de las políticas ambientales y proceso de deterioro de la subcuenca del río Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México*, Tesis para obtener el grado de Maestro en Desarrollo Urbano y Ordenamiento del Territorio, Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
6. SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS, s/f, *Lotes río Sabinal*, Gobierno del Estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Fuentes bibliográficas consultadas no citadas

Blaikie, Piers; Ferry Cannon, Ian Davis, Y Ben Wisner, 1996, *Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres*, Red de Estudios en Prevención de Desastres en América Latina, Tercer Mundo Editores, Colombia.

Del Carpio Penagos, Carlos Uriel; Franco L. Escamiroso Montalvo; Gabriel Castañeda Nolasco, 2000, *Problemas urbanos de Tuxtla Gutiérrez*, UNICACH, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Del Carpio Penagos, Carlos Uriel, 1995, “Espacio y poder en Tuxtla Gutiérrez. Notas preliminares”, en *Espacio y Poder*, Cuadernos de Arquitectura y Urbanismo No. 1, Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Escamiroso Montalvo, Franco L., 1995, “El agua y el desarrollo urbano”, *Revista de la Facultad de Arquitectura, UNACH, Tuxtla Gutiérrez*, Chiapas, México.

Escobar Rosas, Héctor, 2001, “La construcción social del riesgo en Chiapas”, *Ciudades 52*, octubre-diciembre, RNIU, Puebla, México.

Fernández, María Augusta y Lyvia Rodríguez, 1996, “¿Cuál es el problema?. Introducción a la temática”, en FERNANDEZ, María Augusta (Compiladora), *Ciudades en Riesgo. Degradación Ambiental, Riesgos Urbanos y Desastres*, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Lima, Perú.

Lavell, Alan (Compilador), 1994, *Viviendo en Riesgo. Comunidades vulnerables y Prevención de desastres en América Latina*, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Red de Estudios en Prevención de Desastres, Centro de Prevención de Desastres en Centroamérica, Colombia.

Lavell, Alan; Franco, Eduardo (Editores), 1996, *Estado, Sociedad y Gestión de los Desastres en América Latina. En busca del paradigma perdido*, Red de Estudios en Prevención de Desastres, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Intermediate Technology Development Group, Perú.

Mansilla, Elizabeth (Editora), 1996, *Desastres: modelo para armar*, Red de Estudios en Prevención de Desastres, Lima, Perú.

Secretaría de Obras Públicas, *Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población de BERRIOZÁBAL*, Gobierno del Estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 1990.

Secretaría de Obras Públicas, *Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Tuxtla Gutiérrez*, Gobierno del Estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 1992.

Secretaría de Obras Públicas, *Programa de Obra 1984*, Gobierno del Estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Secretaría de Programación y Presupuesto, *Agenda Estadística Chiapas 1991*, Gobierno del Estado de Chiapas, México

Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación Territorial, Dirección General de Atención Social a la Vivienda Urbana y Rural, 2004, *Términos de referencia para el "Estudio de Factibilidad para la protección contra inundaciones de la Cuenca del río Sabinal"*, México.

Subsecretaría de Protección Civil del Estado, 2003, Chiapas, México

Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ingeniería, *Estudio de aprovechamiento integral y de control de inundaciones en la cuenca del río Sabinal*, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 2005.

Fuentes hemerográficas y de primera mano

Flores López, Isaí, *La República en Chiapas*, 26/06/1996:47

Tierra y Libertad, Órgano del Partido Agrarista Chiapaneco, 21/01/1923, Archivo Histórico UNICAH.

La Vanguardia, Órgano del Comité de Estado del PNR, 16/10/1932, Archivo Histórico UNICAH, 1932; Libro 134

El Informador, Tuxtla Gutiérrez, 31/05/1952, Archivo Histórico, UNICAH, 1952, Libro 270

La Tribuna, 7/09/1972, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Ventura, Fernando, *Cuarto Poder* 12/09,1984

La Voz del Sureste, 26/06/1996, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Cuarto Poder, 11/07/1996: 10). Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Cuarto Poder, 7/10/2003, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

La República en Chiapas, 26/06/1996:1, 45, 46 y 47, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

La República en Chiapas, 26/06/1996: 47, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Durante López, Leonel, *Diario de Chiapas*, 7/10/2003, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Entrevista con el Profr. Francisco Román Aquino Castillejos, 12/2004, realizada por Mtro. Arturo Mérida Mancilla.

Semblanza de Autores

Carlos Uriel del Carpio Penagos

Antropólogo por la Universidad Autónoma de Chiapas, México (1989); Maestro en Ciencias Antropológicas por El Colegio de Michoacán, México (1995); Doctor en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable por El Colegio de la Frontera Sur, México (2003). Ex becario CONACYT (1991-1993; 2000-2002) y Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México desde enero de 2006. Es Investigador Titular del Centro de Estudios Superiores de México y Centroamérica de la UNICACH y docente de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas. Es autor de artículos científicos publicados en diversas revistas especializadas, así como autor y coautor de libros sobre antropología, historia y medio ambiente. Actualmente es líder del Cuerpo Académico Patrimonio Sociocultural de la Escuela de Historia de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Ha sido profesor invitado en diversas ocasiones en la Universidad de Boyacá y en la Universidad Nacional de Colombia, así como en la Universidad Nacional de Nicaragua (UNAN-Managua).

Carlos Manuel García Lara

Egresado del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), con Doctorado en Ciencias con especialidad en Óptica, estudios realizados del 2001 a 2004, realizó sus estudios de Maestría en el INAOE de 1996 a 1998 y es egresado del ITTG en 1995.

De septiembre de 2006 a octubre de 2008 fue Coordinador de la Escuela de Ingeniería Ambiental, donde además imparte cátedras de Física y Termodinámica, así como en la Maestría y en el Doctorado en Ciencias de la UNICACH y fue representante del C. A. Estudios Ambientales y Riesgos Naturales de 2007 a 2009.

Ha participado en diferentes proyectos de investigación de diferentes convocatorias como CONACyT, COCyTECH, PROMEP, etcétera. Ha realizado diferentes publicaciones en revistas internacionales como: Elsevier, Cubana de Física, Electronics and Photonics, OSA, CLEO; Además de diferentes participaciones en congresos nacionales como la SME, SOMI y SMCSyV e internacionales como la MEP, OSA y CLEO. Ha realizado dos estancias de investigación en 2008 en el INAOE y en 2009 en el CIO. Fue miembro de la Sociedad Francesa de Óptica de 2004 a 2005 y de la Sociedad Mexicana de Óptica.

Daniel Hernández Cruz

Egresó de la Licenciatura en Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla (ITTG) en el año 1998. Obtuvo el grado Maestro en Ciencias con la Especialidad en Óptica por parte del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) en el año 1999, y realizó sus estudios doctorales en la Université Laval en Quebec, Canadá, donde obtuvo el título de Doctor en Filosofía en Física en el año 2004. Del año 2004 al 2007 realizó trabajos de investigación como Posdoctorante para McMasterUniversity en Ontario, Canadá, estando de base en el Advanced Light Source del Lawrence Berkeley National Laboratory, en California Estados Unidos. Entre los años 2007 y 2008 realizó trabajos de investigación con el grupo de Nanociencias y Nanotecnología en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPI-CYT) y del 2008 al 2009 se incorporó a la Facultad de Ingeniería de la UNACH para realizar investigaciones bajo el programa de retención de CONACyT. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel I, miembro honorífico del Sistema Estatal de Investigadores de Chiapas, es Perfil Deseable PROMEP y es miembro de del Cuerpo Académico de Prevención de Desastres Naturales de la UNACH.

Desde el 2009 es Profesor Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas, en donde imparte cátedras de Matemáticas en Licenciatura y Maestría. Su campo de investigación cubre las áreas de los nuevos materiales, tanto la fabricación y la caracterización. Lo que ha permitido que se involucre en proyectos relacionados a sensores basados en fibras ópticas, estudio de propiedades no lineales ópticas de diversos materiales, detección de corrosión y defectos en infraestructura civil, propuesta de filtros de agua con nuevos materiales realizados en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería y el mejoramiento de los materiales de construcción mediante la implementación de materiales nanoestructurados.

Albert Guadalupe Orantes Jonapá

Nació en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en el año de 1984. En el 2006 inició sus estudios de licenciatura en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, los cuales concluyó con éxito en 2010, actualmente es Pasante de Ingeniería Ambiental de la UNICACH. Aunque ya ha realizado la defensa de tesis cuyo tema fue Caracterización de contaminantes atmosféricos mediante la técnica DOAS pasivo en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Ha participado en diferentes cursos como Instalación de Software y Actualización de PC's y Computación Administrativo y Diseño en 2005 en las instalaciones del ITEC, y Tratamientos de aguas domésticas e industriales en la UNICACH en 2006, además ha escrito un artículo para la gaceta universitaria Nas Jomé sobre técnicas para el monitoreo atmosférico y para la revista Lacandonia con el tema medición remota de ozono atmosférico en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, utilizando la técnica DOAS. En el ámbito profesional se desempeña como residente de obra en la comunidad de Chanal, Chiapas.

Juan José Villalobos Maldonado

Ingeniero Bioquímico, del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, 1981; con Maestría en Ciencias con especialidad en Ing. Ambiental, por la Universidad Autónoma de Nuevo León, 1996. Inicia su vida profesio-

nal trabajando como analista en la Planta Despepitadora de Algodón Ángel Albino Corzo, Control de Calidad en la Embotelladora Central Chiapaneca (PEPSI), Ingeniero de turno en la Compañía Nestlé, (Fábrica Chiapa de Corzo), Jefe de Control de Calidad en la Planta Procesadora de Cacao “Cacaos Finos de Chiapas S.A. de C.V.”, desde 1985 como docente en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, impartiendo diferentes materias en el área de Ing. Química, Ing. Bioquímica y actualmente en la Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica, programa reconocido por el CONACyT, Nivel 3, desde 1998 profesor de Asignatura en la Facultad de Ing. Civil, impartiendo diversas materias en la Licenciatura, Especialidad de Hidráulica Sanitaria y Maestría en Ingeniería Hidráulica Ambiental. Ocupando diversos cargos académicos y administrativos en los que destacan: Secretario y Presidente de Academia de Ing. Bioquímica, Coordinador de Ing. Bioquímica, Coordinador de Ciencias Básicas, Jefe de Departamento de Ciencias Básicas, Subdirector de Servicios Administrativos y en dos ocasiones Subdirector de Planeación y Vinculación, participando también como consultor en materia de impacto ambiental, nombrado como jurado en exámenes profesionales desempeñando los cargos de vocal propietario, secretario y presidente a nivel licenciatura, especialidad y maestría, participando en proyectos de investigación en el sistema interno del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, en temas de Aguas Residuales y Residuos Sólidos Municipales, en el Sistema Interno de Investigación de la UNACH, con el proyecto Análisis de Flujo de Materiales, utilizando el fósforo como indicador de contaminación en descargas de detergentes, y con UNICAH en la primera etapa del Proyecto Inventario Estatal de Gases Efecto de Invernadero, de procedencia en la Industria Química. Ha publicado 7 artículos de corte científico y de divulgación en los temas de Residuos Sólidos Municipales, Procesamiento del Cacao, Aguas Residuales Municipales y Análisis de Flujo de Materiales, Asesor y revisor de trabajos sobre Residencias Profesionales, Director, asesor y revisor de tesis de Licenciatura, Especialidad y Maestría. Actualmente Miembro del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, Colegio de Biotecnólogos de Chiapas, Asociación Mexicana de Hidráulica, Sección Chiapas.

Tema o área de interés: Desarrollo Sustentable, Residuos sólidos urbanos, Peligrosos y de manejo especial, Tratamiento de Aguas Residuales.

Alejandro Mendoza Castañeda

Mexicano, oriundo de Tuxtla Gutiérrez, centra sus inicios empresariales en FUMI PLAGAS, la empresa familiar de control de plagas, se desempeña como responsable de operaciones. Estudios realizados Ingeniero Mecánico, Especialista en Ingeniería Ambiental, en el Instituto Tecnológico de Tuxtla. En 2009 perito en Criminalística Ambiental y recursos naturales, 2010 Diplomado en Gestión Ambiental organizado por SEMARNAT y la UNACH.

Realiza estudios acerca de la generación de aceites lubricantes gastados en el Municipio de Tuxtla Gutiérrez como tesina para recibirse en la especialidad y esto le permite laborar en la Delegación Federal de la SEMARNAT realizando el estudio en Chiapas en donde trabaja como profesional “Situación Actual de los Residuos Peligrosos en Chiapas” 2004.

En enero del 2005 ingresa a la Dirección de Ecología, de la Secretaría de Obras Públicas y Desarrollo Urbano del Municipio de Tuxtla Gutiérrez, con el cargo de coordinador, impulsando el proyecto de creación del Instituto de Protección al Medio Ambiente, como organismo desconcentrado de la administración Pública Municipal, concretándose esta en marzo del mismo año; siguiendo en el cargo hasta el 31 de Diciembre de 2006 cuando es ascendido como Director del Instituto.

Desde el 2007 al momento se encuentra en el cargo, en donde ha impulsado diversos programas y proyectos ambientales, participando abiertamente en la elaboración del Programa Municipal para la Gestión de baterías primarias en el municipio (2005-2009), Auditoría Ambiental para el Municipio (2005), conservación del área navegable del Cañón del Sumidero (2005), Educación Ambiental a población abierta (2006, 2007, 2008, 2009 y 2010), Educación Ambiental para el nivel básico (2008), reglamentación ambiental para el municipio de Tuxt-

la Gutiérrez (2006-2009), Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2009), Buenas Practicas en le manejo de aceites lubricantes usados (2005), etc.

Miembro de la 4ta generación de la Red para la Gestión Integral de Regidos Sólidos (Giresol) organizada por la SEMARNAT y la agencia de cooperación Alemana GTZ, Miembro honorario de distintas organizaciones y asociaciones civiles de corte ambiental.

María Neftalí Rojas Valencia

Realizó sus estudios de Licenciatura en Biología en la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Campus Iztacala (ENEP-I) y de Maestría en Ciencias (especialidad en recursos acuáticos) en la Facultad de Ciencias, en la Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM). Obtuvo el título de Doctor en Ciencias e Ingeniería Ambiental en la Universidad Autónoma Metropolitana el 20 de octubre del 2004. En la actualidad cuenta con 31 cursos complementarios y un diplomado. Hizo dos estancias de investigación, una en el 2002 en el Department of Applied Chemical and Biological Sciences. Faculty of Engineering and Applied Science. Ryerson Polytechnic University, Toronto Canadá y otra en el 2006 en el Departamento Ingeniería Química y Energética de la Universidad de Extremadura de Badajoz, España.

Desde 1993, ha trabajado en el área de Ingeniería Ambiental, en el Instituto de Ingeniería, UNAM en las siguientes líneas de investigación: Tratamiento, reúso, desinfección y bacteriología ambiental y Manejo de residuos sólidos en viviendas y gestión integral de residuos sólidos y rellenos sanitarios.

Su producción científica y técnica se resume en 40 informes de investigación y 24 artículos en revistas y un artículo que conforma un capítulo de un libro. Ha participado en 20 ponencias nacionales y 48 internacionales, a colaborado en 17 cursos y 27 pláticas invitadas, (5 de las cuales fueron en el extranjero). Por lo que se refiere a la formación de estudiantes a dirigido 15 servicios sociales, 20 estancias cortas de investigación, 15 tesis de licenciatura, 1 de maestría y 1 de doctorado y ha participado en 11 jurados de examen de grado. Actualmente es tutora

de una tesis de doctorado. Actualmente imparte clases en el Postgrado de Ingeniería de la UNAM.

Distinciones: Le fue concedido por el Programa de Primas al Desempeño del Personal Académico de Tiempo Completo (PRIDE) el Nivel C en el 2003 y el nombramiento de Investigadora Nacional (SNI), Nivel I el 29 de septiembre del 2005, en ese mismo año también recibió la Medalla al Mérito Universitario, otorgado por la Universidad Autónoma Metropolitana.

Juan Carlos Mora Chaparro

Originario de México, D.F., es Geólogo egresado del Instituto Politécnico Nacional, ESIA, especialista en Vulcanología Universidad de los Estudios de Florencia, Italia, Doctorado (PhD), Petrología Depto. Ciencias de la Tierra Universidad de los Estudios de Florencia, Italia. Tiene varios intereses de investigación, tales como: Riesgos por fenómenos naturales, vulcanología, entre otras.

Se desempeña como investigador Titular A del Instituto de Geofísica de la UNAM, ha sido Colaborador en el Departamento de Metalurgia de la UNIMICH (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia Michoacán), Asistente de Investigador UniversitàdegliStudi di Firenze, Italia Vigilancia Volcánica, con el muestreo de aguas termales y gases fumarólicos en la Isla de Vulcano, Italia.

Dentro de su producción científica se encuentran más de 20 artículos en revistas indizadas y un número similar de artículos y material de divulgación, así como un importante número de informes técnicos y en congresos y reuniones científicas con más de 60 participaciones con ponencias o integrado a las memorias. Ha participado en la formación de recursos humanos como director y asesoría de tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Adicionalmente ha dictado más de 100 conferencias.

Como docente ha impartido un importante grupo de asignaturas y cursos en la UNICACH, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Instituto Tecnológico de Tacámbaro, Michoacán, posgrado de Ciencias de la Tierra, de la UNAM, Facultad de Ingeniería de la UNAM, universidades SUNY, Búfalo, Estados Unidos y San Luis Potosí, Méxi-

co, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN. Adicionalmente ha asesorado a alumnos de servicio social y de estancias de verano de investigación.

Ha participado como árbitro externo del CONACYT del comité de Geociencias y del Medio Ambiente, Revisor Bulletin of Volcanology Internacional Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI) y Revisor y Evaluador (PICT) de los proyectos Agencia de Promoción Científica e Innovación Productiva de la Secretaría de Ciencia y Tecnología Argentina. Esmiembro regular de "Internacional Association of Volcanology of the Earth's Interior" IAVCEI.

Asesora a las siguientes instituciones: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (IUCN), Protección Civil del Estado de Michoacán, Instituto de Protección Civil para el Manejo Integral de Riesgos del Estado de Chiapas, Asesor Científico en el Museo de Ciencia y Tecnología de Tuxtla Gutiérrez, Asesor Científico de Secretaría de Desarrollo Social y Asesor Científico de la exposición de "Los Volcanes de México" en el Museo de Bellas Artes.

Ha realizado proyectos de investigación con patrocinio de FOPREDEN, CONACYT, PAPIIT, SER, National Science Foundation de los Estados Unidos.

Hugo Aguilar Nájera Aguilar

Cursó la Licenciatura en Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez obteniendo el título en el año de 1997. De 1996 a 1999 efectuó los estudios de Maestría en la Universidad Autónoma de Yucatán obteniendo el grado como Maestro en Ingeniería Ambiental en el año de 1999. En Septiembre de 2011 obtuvo el grado de Doctor dentro del programa "Doctorado en Ciencias en Desarrollo Sustentable" por la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH).

Desde Agosto de 2004 es Profesor medio tiempo (20 horas categoría B) de la UNICACH, impartiendo las Asignaturas de Química Inorgánica, Química Orgánica, Química Ambiental y Manejo de Residuos Sólidos I. A partir de Enero del 2008 es profesor de tiempo completo adscrito a la Escuela de Ingeniería Ambiental de la UNICACH.

Su línea de investigación está enfocada hacia el Manejo de los Residuos Sólidos, específicamente al relacionado con la Disposición Final y al tratamiento de contaminantes recalcitrantes por procesos avanzados de oxidación. Ha participado como responsable técnico en los siguientes proyectos de investigación: “Diagnóstico ambiental de los sitios de disposición final de Residuos Sólidos Municipales en las ciudades de Tuxtla Gutiérrez y San Cristóbal de las Casas” y “Pruebas de tratabilidad en lixiviados maduros”.

Del 2005 a la fecha ha participado en la realización de 8 artículos nacionales, 3 internacionales, cuenta con más de 10 ponencias enfocadas al área de residuos sólidos, además de 5 ponencias en Congresos Nacionales y 4 en Internacionales. Ha participado en la elaboración de 2 capítulos de libro.

Por otro lado, también se desempeña como Consultor Ambiental, principalmente en proyectos de disposición final de Residuos Sólidos, como son: Diseño de Rellenos Sanitarios para las ciudades de San Fernando y Las Rosas, y de tres localidades del municipio de La Concordia, Chiapas, además de colaborar en el Diseño del Relleno Sanitario de la ciudad de Benemérito de las Américas, Chiapas. Así como en el diseño del Relleno Sanitario para Pto. Arista, Chiapas. Asimismo, participó en el diseño de Rellenos Sanitarios y Planta de Composta para las ciudades de Miahuatlán de Porfirio Díaz y El Tule, Oaxaca; y en el Diseño del Plan de Clausura para la ciudad de Las Rosas, Chiapas.

Pedro Vera Toledo

Ingeniero Químico, con dos posgrados: Especialista en Ingeniería Ambiental, por el Tecnológico de Tuxtla y Maestro en Ingeniería del Medio Ambiente por la Universidad de Valle del Grijalva. a partir del año 1998 inicia su vida profesional como consultor en materia de impacto y riesgo ambiental, en su haber a estas fechas tienen elaborados más de 50 estudios de impacto ambiental en diversas modalidades tanto a nivel federal como estatal, además de alrededor de 40 proyectos de diverso índole en el tema del medio ambiente, Consultor en diversos proyectos y estudios ambientales, donde sobresalen los relacionados con

el manejo de residuos sólidos no peligrosos, desde su generación hasta la disposición final. Miembro activo de la red nacional de promotores ambientales para la gestión integral de residuos sólidos “giresol”

Fue Coordinador de la licenciatura en ingeniería ambiental de la UNICACH en el periodo de 2008 a 2010, imparte cursos de: Introducción a la Ingeniería ambiental, Evaluación del impacto ambiental I y II, Química ambiental y tratamiento de residuos (Manejo de residuos sólidos no peligrosos); en Ingeniería ambiental, ha participado y dirigido proyectos de investigación en materia de residuos sólidos y agua residual. Ponente en congresos nacionales e internacionales con temas de manejo, tratamiento y disposición final de residuos sólidos no peligrosos.

Ha publicado más de 12 artículos de divulgación en diversas revistas y cuenta con cuatro capítulos de libros en temas sobre manejo de residuos sólidos, aguas residuales e impacto ambiental.

Raúl González Herrera

Originario de Guadalajara, Jalisco, México, su formación profesional es como Ingeniero civil egresado de la Universidad de Guadalajara, Especialista en gestión y vinculación tecnológica de la Universidad Tecnológica de la Selva, Ocosingo, Chiapas, maestría en Ingeniería civil en el área de estructuras en la Universidad de los Andes en Bogotá, Colombia, Doctor en Educación de la Universidad del Sur, Candidato a Doctor en Ciencias con énfasis en Riesgos por fenómenos naturales del Instituto de Geofísica de la UNAM. Ha realizado dos estancias de investigación en UAM-A (México, D.F.) y CISMID (Lima, Perú).

Tiene varios intereses de investigación, tales como: Riesgos por fenómenos naturales y sus costos, materiales sustentables y alternativos para vivienda y vulnerabilidad física. Además de estrategias de enseñanza-aprendizaje-evaluación en ingenierías y disciplinas de las ciencias duras. Tiene 81 artículos publicados en revistas técnicas arbitradas, de difusión y en memorias en extenso de congresos nacionales e internacionales, así como 109 Conferencias, diplomados y cursos impartidos en 13 países.

Ha recibido los siguientes reconocimientos: Miembro del Sistema Estatal de Investigadores, Investigador Tecnólogo I (2006), Candidato a Doctor (2009) y Investigador nivel II (2010), Perfil PROMEP (2005-2008 y 2011-2014), Premio Jorge Matute Remus (1997), Premio Concretos APASCO (1997) y Diploma UdeG como estudiante sobresaliente (1997) mejor promedio en Ingeniería civil. Adicionalmente desde 2005 es fellow del American Concrete Institute, ACI, Seismological Society of America, SSA, y del Earthquake Engineering Research Institute, EERI.

Dentro de las actividades de gestión ha participado como: Vocal de la Asociación Mexicana de Hidráulica de Chiapas, Miembro del Consejo Ambiental Municipal de Tuxtla Gutiérrez, Vicepresidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS) Delegación Chiapas (2006-2008), Vocal Técnico de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (SMIE) Delegación Chiapas (2007-2010), Miembro del Comité Científico Asesor de Protección Civil (2009-2010), Líder de la línea de aplicación y generación de conocimiento Estudios de prevención y mitigación para zonas de alto riesgo (2004-2006), de la línea Estudios Ambientales y Riesgos Naturales (2010-2011) y Coordinador de Ingeniería Ambiental y Ciencias Ambientales de la UNICACH (2004-2006).

Ha realizado labor docente en la Universidad Autónoma de Chiapas (2002-2004) en la licenciatura de ingeniería civil y en la maestría en Ingeniería Civil. Desde 2004 a la fecha participa en el programa de Ingeniería ambiental, así como en la Maestría Doctorado en Ciencias en Desarrollo Sustentable, perteneciendo al Comité de Doctorado.

Participó en los siguientes proyectos de investigación con financiamiento externo: “Estimación de los costos esperados por daño sísmico en Tuxtla Gutiérrez”, “Método de evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica de grandes grupos de edificaciones-Irregularidad estructural”, “Modelo de Negocio de Empresas de Supervisión de Estructuras Certificadas”, “Propuesta de normas de seguridad estructural para Tapachula, Chiapas”, entre otros.

Rubén Alejandro Vázquez Sánchez.

Ingeniero en Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en diciembre de 1996, realizó estudios de Maestría en ciencias (agosto 2000) y Doctorado en ciencias (noviembre 2004) con especialidad en óptica en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE).

Cuenta con 36 artículos publicados que incluyen memorias en extenso de congresos, artículos nacionales e internacionales. Participante en congresos nacionales e internacionales. Director de 4 tesis de licenciatura concluidas y 2 de posgrado en proceso.

Profesor investigador de tiempo completo en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) desde julio del 2007 en donde imparte las cátedras de métodos numéricos, mecánica de fluidos I, mecánica de fluidos II, Calculo I y II.

Sus principales líneas de investigación son la investigación de las propiedades de la fibra óptica para la aplicación en el desarrollo de sensores químicos, biológicos y físicos para aplicación en el monitoreo de la calidad del agua. Así como también, investigación y desarrollo de sistemas láser para el monitoreo atmosférico.

Director de los proyectos:

“investigación y construcción de sensores de fibra óptica con aplicación en la detección de gases contaminantes en rellenos sanitarios y redes de drenaje y alcantarillado público” financiado por PROMEP.

“Investigación teórica y experimental de sensores de fibra óptica basados en rejillas de Bragg y de onda evanescente con posibilidades de aplicarse en el monitoreo de la calidad del agua y aire” financiado por SEP-CONACyT,

“investigación teórica y experimental de sensores de fibra óptica para la detección y medición de sustancias químicas en el monitoreo del medio ambiente” financiado por UNICACH.

Candidato al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), cuenta con el reconocimiento al perfil deseable PROMEP y es miembro honorífico en el Sistema Estatal de Investigadores (SEI).

Manuel May Alarcón

Nació en la Ciudad de Xalapa, Veracruz, el 5 de octubre de 1970. Terminó sus estudios de licenciatura en de la carrera de Instrumentación Electrónica de la facultad de Física de la Universidad Veracruzana en junio de 1993. Realizó sus estudios de maestría en ciencias con especialidad en óptica en el Centro de Investigación Científica y de Enseñanza Superior de Ensenada (CICESE) durante el periodo de 1995 a 1998. Sus estudios de doctorado los realizó en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (IANOE) durante el periodo de 1999 a 2003.

Desde agosto de 2003 a la fecha, trabaja como Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Carmen. Desde octubre del 2004 se desempeña también como Líder del Cuerpo Académico de Telecomunicaciones. A nivel licenciatura ha impartido los cursos de Electrónica I, Electrónica II, Electrónica III; Electricidad y Magnetismo, Comunicaciones por Fibra Óptica, Diseño Digital I, Diseño Digital II y Teoría Electromagnética. En especialidad ha impartido la materia de Sistemas de Radiocomunicaciones mientras que en Maestría ha impartido Tópicos Selectos de Electrónica.

Desde noviembre de 2004 y hasta la fecha ha recibido el Reconocimiento de Perfil Deseable por parte del Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP). Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores SNI de 2005 a 2008 por parte del CONACyT.

El Cuerpo Académico, CA, en el que está adscrito es el de Telecomunicaciones y sus líneas de investigación son: Ahorro de energía, Telecomunicaciones Inalámbricas y por Fibra Óptica. El CA al que pertenece se encuentra en Consolidación desde diciembre de 2009 hasta noviembre del 2012 con Clave ProMeP UACAR-CA-6.

Es autor y coautor de varias publicaciones en revistas y memorias en congresos nacionales e internacionales con el tema de dispositivos optoelectrónicos, láseres y sensores de fibra óptica. Ha dirigido 2 tesis de licenciatura, y 3 tesis de especialidad y una de posgrado mientras que en proceso se encuentran 5 tesis de licenciatura, 1 de especialidad y 1 de maestría. Ha sido revisor de artículos en revistas nacionales y actualmente trabaja como editor de un libro llamado Radiación, Materia y Materiales.

Como investigador, se encuentra actualmente trabajando dos proyectos, que consisten en la construcción de circuitos electrónicos para aplicaciones didácticas. Y Construcción y caracterización de sistemas optoelectrónicos. En los cuales están involucrados profesores y alumnos de las carreras de ingeniería en Electrónica de las áreas terminales.

Francisco Méndez Martínez

Es profesor investigador de la facultad de ingeniería de la UNACAR (Universidad Autónoma del Carmen), nació en Axutla Puebla el 5 de octubre de 1966, terminó sus estudios de Licenciatura en Electrónica en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Realizó sus estudios de maestría en el INAOE (Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica) en el área de óptica, realizando el tema de tesis “Estudio teórico-experimental de los haces adifraccionales con modulación azimutal de fase”, realizando su primera publicación en el European Optical Society Topical Meeting Digest Series de Jena Alemania. En agosto del año 2000 impartió los cursos de Cálculo diferencial e integral, Geometría Analítica Electricidad y Magnetismo, a nivel Licenciatura. Sus estudios de doctorado en ciencias los realizó en el INAOE publicando diversos artículos como autor y coautor sobre el interferómetro de Sagnac de fibra óptica, tanto en el régimen lineal como no lineal. Las aplicaciones del interferómetro fueron enfocadas en reformar pulsos ópticos para sistemas de comunicaciones ópticas. A partir del 2010 es Perfil PROMEP, y ha impartido a nivel Licenciatura los cursos de optoelectrónica, láseres de fibra óptica. Realizó proyectos aprobados por PROMEP, participa como colaborador en proyectos de fondos mixtos del CONACYT y es responsable de proyectos internos. Ha sido miembro del sistema Nacional de investigadores, SNI en el periodo 2008-2010. Cultiva la línea de investigación “Sistemas de comunicaciones inalámbricas y por fibra óptica”.

Rectoría

Ing. Roberto Domínguez Castellanos
RECTOR

Dr. José Rodolfo Calvo Fonseca
SECRETARIO GENERAL

C.P. Miriam Matilde Solís Domínguez
AUDITORA GENERAL

Lic. Adolfo Guerra Talayero
ABOGADO GENERAL

Mtro. Pascual Ramos García
DIRECTOR DE PLANEACIÓN

Mtro. Florentino Pérez Pérez
SECRETARIO ACADÉMICO

Dra. María Adelina Schlie Guzmán
DIRECTORA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Lic. María de los Ángeles Vázquez Amancha
ENCARGADA DE LA DIRECCIÓN DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

Lic. Ricardo Cruz González
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN

L.R.P. Aurora Evangelina Serrano Roblero
DIRECTORA DE SERVICIOS ESCOLARES

Mtra. Brenda María Villarreal Antelo
DIRECTORA DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES

Lic. Noé Fernando Gutiérrez González
DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

Dependencias de Educación Superior

Mtro. Jesús Manuel Grajales Romero
DIRECTOR DE OFERTA EDUCATIVA REGIONALIZADA

L. G. Tlayuhua Rodríguez García
DIRECTORA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN Y ALIMENTOS

Dr. Ernesto Velázquez Velázquez
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Mtro. Alberto Ballinas Solís
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ODONTOLÓGICAS Y SALUD PÚBLICA

Mtro. Martín de Jesús Ovalle Sosa
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS

Dr. José Armando Velasco Herrera
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Antrop. Julio Alberto Pimentel Tort
DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES EN ARTES

Dr. Alain Basail Rodríguez
DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MÉXICO
Y CENTROAMÉRICA (CESMECA)

Dra. Silvia Guadalupe Ramos Hernández
DIRECTORA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO

Lic. Jorge Luis Taveras Ureña
COORDINADOR DEL CENTRO DE LENGUAS

**Colección
Jaguar**



UNICACH

**Estudios ambientales
y riesgos naturales.
Aportaciones al sureste de México III**

Se terminó de imprimir en el mes de agosto de 2013, con un tiraje de 500 ejemplares, en los talleres de Ediciones de la Noche, Madero núm. 687, 44100, Guadalajara, Jalisco. Teléfono: 33-3825-1301. El diseño tipográfico estuvo a cargo de Víctor Miguel Sosa Aguilar, y el cuidado de la edición de la Oficina Editorial de la UNICACH, durante el rectorado del Ing. Roberto Domínguez Castellanos.



En años recientes la universidad ha crecido de manera importante y hoy tiene programas educativos de reciente creación, por tanto, el de Ingeniería Ambiental dejó de ser el más joven a pesar de que fue creado en el año 2004. Sin embargo, a pesar del corto tiempo de vida ha marcado ya una huella indeleble en el quehacer intelectual y cultural de Chiapas mediante el trabajo de sus académicos a través de publicaciones en revistas nacionales e internacionales, así como de libros, tal es el caso del tercer tomo denominado *Estudios ambientales y riesgos naturales. Aportaciones al sureste de México III*.

Los trabajos presentados en este volumen abordan temas de actualidad e interés enfocados específicamente a situaciones de riesgos naturales y estudios ambientales de la ciudad capital del estado de Chiapas, los contenidos son: "Técnicas de medición remota de contaminantes atmosféricos", "Manejo de los residuos sólidos no peligrosos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas", "Una alternativa para el tratamiento de lixiviados maduros generados en el relleno sanitario del municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas", "Investigación de sensores optoelectrónicos para la medición del consumo de corriente eléctrica en casas-habitación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez", "Vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe en el municipio de Tuxtla Gutiérrez" y "Notas para una historia ambiental del río Sabinal". La idea principal es que se plasmen conclusiones que contengan datos estadísticos y concretos para los tomadores de decisiones en esos temas.



ISBN: 978-607-8240-20-3



9 786078 240203