

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS**

FACULTAD DE ARQUITECTURA

**EVOLUCIÓN DEL CHACUACO DE LAS HACIENDAS AZUCARERAS DE MORELOS:
CUATRO CASOS DE ESTUDIO EN LA REGIÓN ORIENTE**

MAESTRÍA EN ESTUDIOS TERRITORIALES, PAISAJE Y PATRIMONIO CULTURAL



TRABAJO DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
PRESENTA

ADRIANA URIBE ANGELES

Director de tesis: **Dra. Natalia Gómez García**

CUERNAVACA, MORELOS, 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

TECNOLOGÍA CONSTRUCTIVA DEL CHACUACO EN LAS HACIENDAS AZUCARERAS: CUATRO CASOS DE ESTUDIO EN LA REGIÓN ORIENTE DEL ESTADO DE MORELOS

Director de tesis:

Dra. Natalia Gómez García

Sinodales:

Dr. Rafael Monrroy Ortiz

Dr. Francisco Salvador Granados Saucedo

Dra. Patrizia Granziera

A mi Familia Y amigos

Agradecimientos

La siguiente investigación es el resultado del apoyo y trabajo de un gran grupo de personas que me han acompañado a lo largo de este proyecto, que no sólo ha contribuido a mi crecimiento académico, también reconozco un desarrollo integral como persona y ser humano.

En primer lugar, resulta importante mencionar que se contó con beca CONACYT y sin este apoyo económico sería imposible haber preparado este trabajo. A la Dra. Natalia Gómez García por su dedicación y tiempo en el trabajo en esta tesis hasta llegar a la conclusión de la misma.

Mi agradecimiento al colectivo Colec- Estudios Urbano Ambientales por contar siempre con su apoyo, al Dr. Rafael Monroy Ortiz un especial agradecimiento por acobijar me en su equipo, por brindarme confianza, palabras de sabiduría y ánimo, y por el apoyo incondicional que me ha brindado a lo largo de mi camino académico.

Finalmente, a mis padres Franco Esteban Uribe Portillo Y Gloria Ángeles Araíza por su infinito amor y apoyo, a mis hermanos, compañeros y amigos; que me acompañan y que indirecta o directamente su cariño ha funcionado como un catalizador que me ofrece el ánimo y la motivación para seguir adelante.

ÍNDICE	Pag.
Introducción	
Planteamiento del problema	1
Pregunta de investigación	3
Hipótesis	3
Objetivo general	3
Objetivos particulares	4
Metodología	
Capítulo 1 Las haciendas azucareras en Morelos	6
1.1 Introducción	6
1.2 Antecedentes históricos de las haciendas en México	8
1.3 Sistemas de organización que favorecieron el desarrollo de la hacienda en la Nueva España	11
1.4 Las haciendas azucareras morelenses después de la revolución industrial	16
1.4.1 Proceso de producción y espacios requeridos dentro de las haciendas azucareras	17
1.5 Las haciendas morelenses como arquitectura y patrimonio industrial	22
1.6 Función del chacuaco en las haciendas azucareras morelenses	24
Capítulo 2 Elementos esbeltos de mampostería	26
2.1 Chimeneas industriales	26
2.2 Cálculo tradicional de estructuras esbeltas de mampostería en Europa	29
2.3 Estudio estructural de chimeneas industriales de mampostería con métodos tradicionales	34
2.4 Estabilidad de una estructura esbelta de mampostería sin refuerzo	37
2.4.1 Cálculo de la presión estática neta p_n	37

2.4.2 Cálculo de la fuerza estática de arrastre F_e	41
2.4.3 Cálculo de resultante con estática gráfica	43
2.5 Daños y deterioros en chacuacos de mampostería	46
Capítulo 3 Historia fabril y chacuacos de las haciendas de Cuahixtla, Atlihuayan, Chinameca y El Hospital	48
3.1. Hacienda El Hospital (Cuautla)	49
3.1.1. Ubicación, historia industrial y arquitectura	49
3.2.2 Geometría y características constructivas del chacuaco	51
3.1.3. Daños y agentes de deterioro chacuaco El Hospital	53
3.2. Hacienda Chinameca (Cuautla)	56
3.2.1. Ubicación, historia industrial y arquitectura	56
3.2.2 Geometría y características constructivas del chacuaco	58
3.2.3. Daños y agentes de deterioro del chacuaco Chinameca	60
3.3. Hacienda Atlihuayan (Ciudad Ayala)	63
3.3.1 Ubicación, historia industrial y arquitectura	63
3.3.2 Geometría y características constructivas del chacuaco	65
3.3.3 Daños y agentes de deterioro del chacuaco Atlihuayan	67
3.4. Hacienda Cuahuixtla (Ciudad Ayala)	70
3.4.1 Ubicación, historia industrial y arquitectura	70
3.4.2 Geometría y características constructivas del chacuaco	72
3.4.3 Daños y agentes de deterioro del chacuaco	74

Capítulo 4 Evolución y características estructurales del chacuaco en los casos de estudio	77
4.1 Estudio comparativo de las características geométricas de los casos de estudio dentro de la evolución industrial azucarera	77
4.2 Casos de estudio y las reglas europeas del cálculo tradicional	80
4.3 Cálculo sencillo de estabilidad ante propio peso y línea de presiones en os caso de estudio	82
4.3.1 Comparación del cálculo en los casos de estudio	90
Conclusiones	93
Bibliografía	95
Anexos	
Anexo 1 Procedimiento para calcular V_D	99
Anexo 2 Vocabulario	100
Anexo 3 Registro de daños de los chacuacos	101

Lista de Figuras	Pag.		
Figura 1. Trapiche cubano de tracción animal, siglo XVIII	13	Figura 22. Localización de la Hacienda Atlihuayan	64
Figura 2. Casa de calderas de la hacienda Atlihuayan	15	Figura 23. Sección y corte del Chacuaco Atlihuayan	66
Figura 3. Esquema de los espacios típicos de una hacienda azucarera	18	Figura 24. Planta arquitectónica y secciones por tramo del chacuaco Atlihuayan	67
Figura 4. Espacio y proceso productivo de la caña de azúcar	25	Figura 25. Daños y deterioros del chacuaco Atlihuayan	69
Figura 5. Comparación del cuerpo humano con una torre	32	Figura 26. Ubicación de Cuautla	70
Figura 6. Foto de la antigua casa de calderas y sus chacuacos en la hacienda Cocoyoc	34	Figura 27. Localización hacienda Cuahuixtla	71
Figura 7. Vuelco de una chimenea industrial de mampostería de ladrillo	36	Figura 28. Sección y corte del chacuaco Cuahuixtla	73
Figura 8. Acción del viento sobre la chimenea industrial	43	Figura 29. Planta arquitectónica y sección por tramo del chacuaco Cuahuixtla	74
Figura 9. Suma de fuerzas paralelas	44	Figura 30. Daños y deterioros del chacuaco Cuahuixtla	76
Figura 10. A) Polígono de suma de fuerzas B) Polígono funicular	45	Figura 31. Sección geométrica de las chimeneas industriales	80
Figura 11. Mapa de ubicación de Cuautla	49	Figura 32. Planta Arquitectónica chacuaco El Hospital	82
Figura 12. Localización Hacienda El Hospital	50	Figura 33. Gráfica línea de presiones El Hospital	83
Figura 13. Sección y corte del chacuaco El Hospital.	52	Figura 34. Planta arquitectónica chacuaco Chinameca	84
Figura 14. Planta arquitectónica y secciones por tramo del chacuaco El Hospital	53	Figura 35. Gráfica línea de presiones Chinameca	85
Figura 15. Daños y deterioros del chacuaco El Hospital	55	Figura 36. Planta arquitectónica chacuaco Atlihuayan	86
Figura 16. Ubicación de Ciudad de Ayala	56	Figura 37. Gráfica línea de presiones Atlihuayan	87
Figura 17. Localización Hacienda de Chinameca	57	Figura 38. Planta Arquitectónica chacuaco Cuahuixtla	88
Figura 18. Sección y corte del chacuaco Chinameca	59	Figura 39. Gráfica línea de presiones Cuahuixtla	89
Figura 19. Plata arquitectónica y secciones por tramo del chacuaco Chinameca	60	Figura 40. 1 Levantamiento de daños del chacuaco El Hospital	102
Figura 20. Daños y deterioros del chacuaco Chinameca	62	Figura 40.2 Levantamiento de daños del chacuaco El Hospital	103
Figura 21. Ubicación de Yautepec.	63		

Figura 41.1 Levantamiento de daños del chacuaco Chinameca	104
Figura 41.2 Levantamiento de daños del chacuaco Chinameca	105
Figura 42.1 Levantamiento de daños del chacuaco Atlihuayan	106
Figura 42.2 Levantamiento de daños del chacuaco Atlihuayan	107
Figura 43.1 Levantamiento de daños del chacuaco Cuahuixtla	108
Figura 43.2 Levantamiento de daños del chacuaco Cuahuixtla	109

Lista de Tablas

	Pag.
Tabla 1. Descripción del tipo de producción de las haciendas en la Nueva España y de sus ubicaciones	10
Tabla 2. Espacios y elementos construidos de las haciendas azucareras de la época industrial.	21
Tabla 3. Reglas de proporción de Alberti para torres y chimeneas	31
Tabla 4. Reglas de tratadistas europeos para el cálculo de espesor de muros en torres y chimeneas	31
Tabla 5. Coeficiente de arrastre, C_a , para formas redondas	40
Tabla 6. Factor de corrección por relación de esbeltez	41
Tabla 7. Datos básicos para la revisión de la estabilidad de chimeneas de ladrillo	42
Tabla 8. Peso de chimenea industrial El Hospital	53
Tabla 9. Matriz de interacción daños y deterioros chacuaco El Hospital	54
Tabla 10. Peso de chimenea industrial Chinameca	60

Tabla 11. Matriz de interacción daños y deterioros chacuaco Chinameca	61
Tabla 12. Peso de chimenea industrial Atlihuayan	67
Tabla 13. Matriz de interacción daños y deterioros chacuaco Atlihuayan	68
Tabla 14. Peso de chimenea industrial Cuahuixtla	74
Tabla 15. Matriz de interacción daños y deterioros chacuaco Cuahuixtla	75
Tabla 16. Características geométricas de los casos de estudio y producción	78
Tabla 17. Historia fabril y modernizaciones	79
Tabla 18. Evolución del chacuaco en los casos de estudio	81
Tabla 19. Cuadro comparativo de los casos de estudio	91
Tabla 20. Comparación de resultados	92

Planteamiento y justificación del problema

Las haciendas azucareras constituyeron las primeras agroindustrias novohispanas en todo el continente americano. El desarrollo de la industria azucarera en el estado de Morelos fue muy importante gracias a que sus características geográficas y climáticas favorecieron su fundación, crecimiento y desarrollo. En Morelos, la industria azucarera forma parte del paisaje edificado del estado, en donde existen alrededor de 110 haciendas y trapiches. La relevancia de estas edificaciones tiene su mayor peso en la historia nacional, pero sobre todo en la historia del estado de Morelos, ya que se pueden encontrar haciendas que datan del siglo XVI hasta finales del siglo XIX. Uno de los elementos característicos que se pueden apreciar y que forman parte de las haciendas azucareras de la región son las chimeneas industriales, conocidas coloquialmente como chacuacos. Estas estructuras esbeltas y de gran altura aún se ven en las haciendas de 24 de los municipios del estado de Morelos, a pesar de que el 68% de estas edificaciones se encuentran en condición de abandono o en ruinas, invadidas por la vegetación y en muy malas condiciones. El otro 32% se conserva como propiedad privada, respondiendo a una razón económica; son hoteles de lujo, restaurantes, museos, fincas de fin de semana o balnearios (Toussaint, Alfonso, 2010) que se han podido conservar en mejor estado. Existen casos aislados como la ex hacienda de Cuahuixtla, ubicada en el municipio de Cuautla, en donde los ejidatarios administran el lugar y lo rentan para eventos de diversa clase.

Estas haciendas han ido evolucionando a la par de los requerimientos que la industria azucarera exigió conforme fue creciendo su producción. Inicialmente la producción se dio en construcciones conocidas como trapiches, en donde la molienda del azúcar se realizaba por medio de tracción animal. Posteriormente el trapiche sufre algunos cambios debidos al aumento de producción, generando así un mayor ingreso monetario, lo que finalmente se vio reflejado en los cambios de la tecnología utilizada para los procesos fabriles; se introdujo la rueda hidráulica y finalmente, se dio la modernización con las máquinas de vapor, dando así origen a las haciendas azucareras. Muchos de sus elementos fabriles, como el chacuaco, los acueductos y la casa de calderas se transformaron

hasta alcanzar mayor eficacia y así mejorar la producción. A la par, tuvieron que ir mejorando la calidad constructiva y estructural de estos espacios arquitectónicos, sobre todo del chacuaco, dada sus características formales, pues es muy alto y esbelto.

El mal estado de los espacios que conforman estas ex haciendas y la necesidad de conservarlas, considerando que son parte importante del patrimonio arquitectónico del estado, nos lleva a la necesidad de realizar estudios de su estabilidad. Entre las estructuras que más requieren este tipo de estudios están las chimeneas o chacuacos, debido a que su gran esbeltez los hace más vulnerables ante acciones sísmicas o viento; su estructura, geometría y técnicas constructivas se fueron transformando a lo largo del tiempo a la par del crecimiento de la industria azucarera en el estado. A partir de la revisión bibliográfica del tema podemos constatar que existe poca información respecto al proceso de transformación y evolución de este elemento a lo largo del tiempo. Ya desde sus inicios, en el siglo XVI, se observan en los trapiches pequeñas chimeneas cuadradas, mientras que, en las haciendas de grandes dimensiones, donde se dieron procesos de modernización durante el siglo XVIII y XIX las chimeneas son muy altas, por lo que requirieron de personal especializado para su construcción. Con el paso del tiempo, estos elementos fueron adquiriendo otras características geométricas y constructivas, mayores dimensiones y, en consecuencia, mayor esbeltez y preferencia por secciones transversales de geometría circular. El estudio de los elementos esbeltos de mampostería en las haciendas es un campo de estudio de gran interés para su conservación pues son uno de los elementos de estos edificios que tienen mayor ~~en~~ peligro de perderse, dadas sus características geométricas. La mínima valorización por parte de la población, la falta de políticas que protejan estos edificios, la falta de mantenimiento, así como la carencia de conocimientos que ayuden a elaborar proyectos de conservación para mitigar los daños que con el paso del tiempo van sufriendo estas construcciones esbeltas son algunos factores que inciden en los problemas de esta parte del patrimonio cultural del estado de Morelos.

Con la intención de abordar adecuadamente el estudio de los chacuacos de las haciendas con un enfoque evolutivo de sus características arquitectónicas y estructurales, resulta importante conocer los contextos social y económico en los que fueron construidos con el fin de entender los procesos fabriles y con esto, el funcionamiento y transformación de los espacios arquitectónicos e industriales. Este tema es relevante ya que la arquitectura de estos edificios aporta un testimonio histórico. Con base en algunos

datos proporcionados por Alfonso Toussaint (2010), –contenidos dentro de una reseña histórica de cada una de las haciendas del estado de Morelos–, se evidencia la relación en el incremento de la producción y los cambios de las haciendas desde el siglo XVII hasta la modernización, en el periodo porfirista. Estos cambios se reflejan en la transformación del chacuaco, –el objeto de estudio del presente trabajo–; las diferencias geométricas, estructurales y constructivas. Esta evolución no ha sido investigada desde la perspectiva planteada aquí a pesar de que resulta relevante ya que nos permite comprender el papel que tuvo el chacuaco en el proceso de desarrollo de la hacienda, de tal manera que el presente trabajo constituya una fuente objetiva del conocimiento para acciones de conservación y restauración en investigaciones futuras.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son las características que han ayudado a la estabilidad del chacuaco de las haciendas azucareras del estado de Morelos, considerando su transformación relacionada con la evolución de los procesos productivos de esta misma industria?

Hipótesis

Las chimeneas de mampostería sin refuerzo conocidas como chacuacos en las haciendas azucareras del estado de Morelos fueron transformándose junto con el incremento de la producción del azúcar, los avances tecnológicos de la industria y la especialización de su sistema constructivo y estructural para evitar problemas de estabilidad ante acciones permanentes y accidentales como la fuerza del viento.

Objetivo general de la investigación

Relacionar las transformaciones de los chacuacos de mampostería sin refuerzo construidos en las haciendas azucareras de la región oriente del estado de Morelos, con la evolución de los procesos de la industria azucarera y perfeccionamiento de las técnicas constructivas para garantizar su estabilidad, a través de estudios comparativos de cuatro casos representativos de la región.

Objetivos particulares de la investigación

1. Comprender la importancia de la industria azucarera y cómo se fue desarrollando en la región oriente de Morelos.
2. Elegir casos representativos para este estudio que incluyan chacuacos construidos en diferentes periodos históricos, con el fin de identificar el proceso evolutivo en diversos contextos; sociales, económicos, técnicos, etc.
3. Determinar las características constructivas, estructurales y geométricas de los cuatro chacuacos elegidos para esta investigación.
4. Analizar la geometría de los casos de estudio y su cercanía con las reglas de dimensionamiento tradicionales de tratados antiguos de construcción para estructuras esbeltas de mampostería.
5. Relacionar los cambios constructivos del chacuaco con el avance de la industria azucarera de la región poniente de Morelos.
6. Analizar su comportamiento ante la acción del viento y la relación que guarda con la geometría de su volumen y en planta.

Metodología

Esta investigación se realizó en tres fases: la primera consistió en la revisión bibliográfica y documental de cómo se desarrolló la industria azucarera en el estado de Morelos gracias a las condiciones óptimas para el cultivo de caña. En esta etapa además se estudiaron las características de los espacios construidos dedicados a la producción, empezando por los trapiches, su transformación posterior a las grandes haciendas azucareras y el proceso que sigue la caña de azúcar durante todo el proceso fabril.

En la segunda etapa se identificaron las haciendas morelenses en relación a su ubicación, capacidad de producción e importancia histórica y económica. Fue acotada la revisión histórica a las haciendas de la región oriente del estado, por ser una de las más prósperas y, por tanto, en la que se encuentran haciendas que experimentaron de manera más acelerada el incremento de la

producción azucarera. Para elegir los casos de estudio representativos de este trabajo se tomaron en consideración las características ambientales de la región que contribuyeron al aumento de la cosecha de la caña, desencadenando así necesidades espaciales arquitectónicas e industriales que permitieran el aumento en la producción. Con los datos obtenidos y la consulta de trabajos de investigación de las haciendas y de la industria azucarera morelense, fue posible elegir los casos representativos. Ya definidos los chacuacos para su estudio, en esta segunda etapa, se investigó en cada uno la historia de construcción de la hacienda, se identificaron los espacios dedicados al proceso de obtención del azúcar, las bitácoras de su producción, las tecnologías implementadas y cómo fueron adaptándose a los procesos de modernización. La información recolectada fue organizada cronológicamente y relacionada con la tipología del chacuaco y su función. A la par, se realizaron los levantamientos arquitectónicos de cada caso de estudio con ayuda de una estación total y se construyó un registro de los datos más relevantes, tanto de la hacienda como de sus chimeneas.

Finalmente, en la tercera etapa, los datos de campo recabados en la etapa anterior sirvieron para realizar modelos tridimensionales de cada caso de estudio para identificar sus características más relevantes; constructivas, geométricas y estructurales. Con estos datos se exploró la aplicación de reglas tradicionales estructurales que encontramos en tratados de construcción antiguos para edificaciones esbeltas, como son las chimeneas de mampostería no reforzada. Finalmente se realizó el cálculo de estabilidad ante propio peso y bajo la acción de la fuerza del viento, dos acciones a las que comúnmente están sometidas estas estructuras. Con base en el cálculo de línea de presiones y su relación con los daños observados en los chacuacos se obtuvieron los resultados de esta fase.

Capítulo 1

Las haciendas azucareras en Morelos

1.1 Introducción

Este capítulo aborda la historia de las haciendas azucareras en el estado de Morelos, así como una breve introducción de la llegada del azúcar al continente, la formación de las primeras haciendas en México, su tipo de producción y por último, su consolidación, particularmente en Morelos. En la construcción de este primer capítulo se consideró pertinente incluir las aportaciones de investigaciones relacionadas con la historia de las haciendas, conformando así el primer subcapítulo. Estas contribuciones nos ayudan a conocer más fondo la historia del azúcar, cómo fue su llegada al continente americano al ser introducida en México después del arribo de los españoles. También se abordan las características sociales y políticas imperantes durante la fundación de las primeras haciendas en Morelos, así como los factores climáticos de la región que favorecieron su cultivo. Esto último, entre otros aspectos, trajo como consecuencia el establecimiento de los primeros trapiches en el estado y la expansión de la industria azucarera.

Por otra parte, del estudio bibliográfico del tema, resaltan particularmente los estudios que diversos autores han hecho respecto del desarrollo de la industria azucarera con un enfoque económico y social, así como su relación con los sistemas administrativos implementados para su producción y comercio. Aspectos que sirvieron sobre todo para la redacción del capítulo 4 de este trabajo. En esta misma línea se describen los antecedentes de la hacienda antes del régimen porfirista, detallando a la par los inicios rudimentarios de la transformación de la caña.

En el segundo subcapítulo se abordan en forma las características de las haciendas azucareras, en relación a su programa y partido arquitectónicos, así como el proceso que pasa la caña hasta la producción del azúcar, con el fin de entender la función del chacuaco en este proceso industrial. Finalmente, el estudio de las haciendas azucareras es abordado como patrimonio arquitectónico pre-industrial e industrial, enfatizando la importancia de incluir la secuencia de los procesos manufactureros para la interpretación arquitectónica de un edificio o monumento histórico que tuvo función productiva. Es decir, en este marco los chacuacos serán tratados en función de los cambios tecnológicos implementados para el aumento en la producción del azúcar, de la demanda de modernización por la creciente industria y las consecuencias que estos aspectos provocaron en la región. Estos factores explican en gran medida la arquitectura de las haciendas azucareras y las transformaciones que sufrieron sus elementos industriales, de manera particular el chacuaco (Gisela Von Webesar, 1988; Kusuhara Ikuo, 2008). Por otro lado, Beatriz Scharrer (1997) es una de las autoras más destacadas que aborda las características de la reestructuración del sector azucarero, y los resultados de la modernización de la industria en Morelos.

Las investigaciones consultadas hacen evidente la falta de estudios relacionados con la construcción del chacuaco y sus características estructurales. Con el fin de aportar un compendio para el mayor conocimiento de estos elementos, se han elegido cuatro casos de estudio, considerados pertinentes para identificar cómo fue la transformación de este elemento en Morelos. Para ello, en este primer capítulo son abordados los trapiches en sus inicios, y cómo fueron evolucionando en las haciendas conforme incrementó la producción de los derivados de caña de azúcar y se dio el proceso de reestructuración o modernización.

Posteriormente, son descritos los espacios de producción, las instalaciones básicas y especializadas, los espacios de administración, de servicios, de trabajo y los habitacionales típicos de una hacienda azucarera. A la par, fueron consultadas algunas fuentes especializadas sobre la arquitectura catalogada como patrimonio industrial (Inmaculada Aguilar Civera, 2011; Paulina Morales Mújica & Auribel Villa Avendaño, 2013; Gracia López Patiño, Arturo Martínez Boquera & Luis de Mazarredo Aznar. 2011). En ellas se muestra que la conservación de la arquitectura industrial nace cuando surgió la revolución industrial y que ésta es parte

del testimonio de los primeros procesos de producción masiva, de la maquinaria, de los sistemas de trabajo, de las actividades comerciales y de la infraestructura presente en un periodo de la historia que fue transformándose con la evolución tecnológica.

Finalmente, se presenta la definición y descripción del chacuaco o chimenea industrial, como un elemento pre-industrial e industrial que ha sufrido transformaciones a lo largo de cuatro siglos en el estado de Morelos y que a su vez, ha respondido a las exigencias de la industria azucarera del estado.

1.2 Antecedentes históricos de las haciendas en México

La historia de las haciendas en México recorre un largo camino, pues surgen inmediatamente después de los primeros años de la conquista española, continuando durante todo el periodo virreinal, la independencia, los años del movimiento revolucionario y finalmente, decayendo con el surgimiento de las reformas agrarias derivadas al concluir dicho movimiento armado. Las primeras haciendas pueden ser definidas como una propiedad agrícola dirigida por un terrateniente y operadas por fuerzas de trabajo sometidas; su producción es empleada para la acumulación del capital y sustenta el estatus económico de los propietarios (Rendón Ricardo, 1994). Del mismo modo, el término hacienda se refiere a las extensiones de tierra equivalentes a 8,770 hectáreas que acumulaban suficiente riqueza (Lorenzo Antonio, 2007), son elementos productivos con rasgos de un capitalismo básico parecido al del sistema feudal.

El entorno en el cual se construyeron las haciendas en México fue el rural, que con la integración de estrategias de desarrollo económico alteraron el paisaje, la cultura y la vida de los pobladores de la Nueva España. Sin embargo, con el paso del tiempo estos espacios se especializaron para crear sistemas de producción en serie, con una finalidad plenamente económica. Los giros y peculiaridades de las haciendas fueron cambiando en base a la riqueza natural en la que se situaba estas grandes construcciones. Es de este modo que el estado de Morelos se convirtió en uno de los lugares con mayor número de haciendas azucareras, así como también de las más importantes por su gran producción.

Las haciendas como espacios contruidos, si bien, tienen características generales que pueden compartir entre ellas, cuentan con una gran variedad de peculiaridades que las diferencian entre sí. El referente histórico y las variables productivas fueron los factores que influyeron en los diferentes partidos arquitectónicos de las haciendas. Entre otras peculiaridades que las diferencian, están las condiciones geográficas, la demanda del mercado, la oferta de la mano de obra y el perfil de los propietarios. La enorme riqueza geográfica de la Nueva España influyó en las variantes productivas de las haciendas en todo su territorio (ver Tabla 1), de tal manera que durante el virreinato existieron, por mencionar algunas, haciendas cerealeras, ganaderas, azucareras, mineras o de beneficio, pulqueras, mezcaleras, henequeneras, algodoneras, tropicales y forestales.

Los datos de la Tabla 1 indican que las haciendas azucareras y los molinos de trigo constituyeron las primeras agroindustrias novohispanas en Morelos; esto se debió inicialmente en gran medida a la labor que Hernán Cortés realizó en la región, estableciendo su residencia en la Villa de Cuernavaca y algunas de sus empresas productivas del Marquesado del Valle de Oaxaca, del que formaba parte. Entre estas empresas estuvo su fábrica de azúcar llamada Hacienda de Cortés, fundada en San Antonio de Atacomulco. Entre otras de las empresas más destacadas de Cortés se encuentra el ingenio de Tlaltenango, ya que es aquí donde era procesada la caña que se sembraba en la de Atacomulco. Cómo es sabido, esta predilección de Hernán Cortés por Cuernavaca se debió a varios factores, entre los que se encuentran la fertilidad de la tierra en una región subtropical cercana a la Ciudad de México, centro vital del poder político y un significativo mercado para los productos de sus empresas (Carrillo Olea, 1996).

Tabla 1. Descripción del tipo de producción de las haciendas en la Nueva España y de sus ubicaciones

Tipo de producción de la hacienda	Época y ubicación	Productos
Ganadera	Empezaron a florecer desde el siglo XVI en Aguascalientes, Guanajuato y Querétaro	Ganado de labor: para el trabajo de tira, carga, molienda y de noria. Ganado de consumo interno: vaca de ordeña, puercos, ovejas, gallinas y palomas. Ganado criado para venta: carne, cuero, lana, leche y sus derivados.
De Beneficio	Levantadas en los grandes centros mineros del país; Durango, Zacatecas, San Luis Potosí e Hidalgo. Su mayor auge lo tuvieron a principios del siglo XVIII, siendo estas de las más prósperas.	Oro y plata.
Cerealeras	Generalmente en Puebla Morelia y Tlaxcala, se mantuvieron activas durante los siglos XVI-XIX	Maíz y trigo, en algunos casos posteriormente se relajó la molienda del grano de trigo para su transformación en harina.
Pulqueras	Ubicadas en perímetro de la capital y algunas en el estado de Hidalgo, las cuales tuvieron su auge durante el siglo XIX.	Cultivo de maguey y pulque.
Cabeceras de mayorazgo o de bienes libres	Seguían en términos generales la disposición ordinaria de edificios civiles, especialmente en aquellas partes destinadas a habitaciones.	Ganado y cultivo para autoconsumo
Agrícolas	Surgen poco después de que Hernán Cortés estableciera los primeros ingenios o trapiches en las cercanías de Cuernavaca, en la época de la primera mitad del siglo XVI	Azúcar, maíz, frijol, chiles, tomates-jitomate, chía y flores.
Tropicales	Comúnmente ubicadas en las costas del Pacífico debido a las condiciones climáticas que favorecían a la explotación del cacao y el índigo.	Cacao, índigo, plátano, café, Henequén
Azucareras	Principalmente ubicadas en Morelos, Guerrero y Veracruz. Corresponden a las primeras durante la época colonial, del siglo XVI hasta el siglo XIX.	Azúcar y aguardiente

Nota: Tabla realizada con datos de Kusuhara, (2008).

1.3 Sistemas de organización que favorecieron el desarrollo de la hacienda en la Nueva España

La producción del azúcar a nivel mundial inició en la India, posteriormente llegó a España para ser cultivada en las Islas Canarias de Melanesia. Posteriormente, con las invasiones que se dieron una vez descubierto el Nuevo Mundo, se introdujo en América por Hernán Cortés; primero en la isla de Cuba y después en Puerto Rico. En México se arraigó primero en Veracruz, extendiéndose hacia el occidente, en los estados de Michoacán y Jalisco. También fue producida en el centro del país, cerca de Puebla y, de manera preponderante, en los Valles de Cuernavaca y de Cuautla de Amilpas, cuya producción abastecía de azúcar a la ciudad de México (Jiménez Lucero, 1986, p. 16).

Los primeros ingenios azucareros en Morelos fueron fundados alrededor de 1535, en los pueblos de Axomulco (Atlacomulco) y Amanalco; el primero de ellos perteneció a Hernán Cortés y el segundo, a Bernardino del Castillo. Para finales del siglo XVII había 40 ingenios y trapiches en el estado, según las investigaciones de Gisela Von Websar (1988). Debido a las condiciones naturales de la región, la producción de azúcar aumentó las reservas del viejo continente que ya apreciaba este producto; el costo se abarató de tal manera que aumentó considerablemente su consumo, ya que antes sólo se empleaba como medicamento o especia por su alto precio. Por su parte, antes de esta predilección por el azúcar, entre los endulzantes más usados en América estaban la miel de abeja o avispa, miel de maguey, de maíz o de tuna, y aquéllos que se obtenían de las hormigas mieleras (Kusuhara, 2008).

Silvio Zavala (1940) menciona que el origen de las haciendas en la Nueva España se dio dentro del sistema de las mercedes. Sabemos que existieron otros sistemas de organización, como la encomienda, que también ayudaron de alguna manera a la creación y evolución de las haciendas. Inicialmente la adquisición de tierras se dio de forma legal por medio de la “merced”, que consistió en la aprobación de una propiedad mediante una concesión o merced real (Monterrubio, 2007, p. 66). Dicho sistema que tenía bajo su mandato estas tierras no permitía venderlas, teniendo que trabajarlas para que a lo largo de un año generaran los tributos destinados a la Corona Española. Sin embargo, no se acataron las disposiciones, causando que el mercado y la especulación de tierra fueran muy

intensos y con esto se ocasionara el incremento de los imparables latifundios. Por ello, se argumenta que estas mercedes daban función a las actividades agrícolas y ganaderas; su ubicación se regía por la cercanía de las fuentes de agua que sostenían estas actividades (Rendón, 1994, pp. 27-29).

Por su parte, la encomienda consistió en la adquisición de tierras bajo un sistema legal según las políticas de la corona española. Este sistema fue empleado por Hernán Cortés en el año de 1522 en el territorio de la Nueva España, otorgando privilegios a los conquistadores como recompensa por su labor, aunque esto sin el consentimiento de la Corona Española. La encomienda tiene fundamentos tanto en el sistema feudal europeo como en la organización tributaria del mundo indígena, y al igual que en la merced, el gobierno español estableció términos para evitar abusos, prohibiendo la apropiación de las tierras y de los bienes de los nativos. Sin embargo, los encomenderos exigieron más tributos y se apropiaron de bienes y tierras de indios. Ante esto, la Corona Española estableció límites en el poder de la encomienda, en donde la recaudación de tributo, dinero, alimentos y algunas mercancías fueron transferidos a funcionarios reales, para finalmente hacerla desaparecer a principios del siglo XVIII (Rendón, 1994, pp. 25-26).

Con la caída de la encomienda, se estableció el repartimiento, un sistema que contribuyó con mano de obra a las primeras haciendas de la Nueva España y que estuvo basado en el trabajo laboral forzado remunerado, temporal y rotativo, particularmente usado para labores agrícolas, urbanas y mineras. Este sistema estuvo lleno de irregularidades y fue abolido en 1632; sin embargo, perduró en algunos lugares hasta el siglo XVIII debido a la necesidad de mano de obra durante las temporadas de siembra y cosecha, y en periodos de inundaciones (Rendón, 1994, pp. 29-30).

Tanto las mercedes como la encomienda establecieron las bases para que la invasión y apropiación de las tierras se fuera dando paulatinamente, y junto con otras formas de organización, las haciendas fueron anexándose tierras. Fue en la segunda mitad de siglo XVI y principios del XVII cuando empezó la compraventa de tierra a precios muy altos, eliminando a los competidores locales y fortaleciendo el sistema monopolista, además de las herencias y las apropiaciones ilegales, que ayudaron a consolidar los grandes latifundios (Monterrubio, 2007, p. 72).

Los primeros espacios dedicados al procesamiento de la caña de azúcar fueron los “zangarrillos”, también conocidos como trapiches (ver figura 1). Estos espacios fueron construidos con estructuras rudimentarias y de carácter provisional, en los que se

producía panela mediante tracción animal. En esta etapa, la cría de ganado fue parte importante de la operación de las fábricas (como fuerza motriz para las ruedas de la molienda, para la prensa, como fuerza indispensable para el transporte y acarreo de los insumos, como proveedor de cueros, lana, sebo, etc.) (Reynoso, 2006, p. 460).

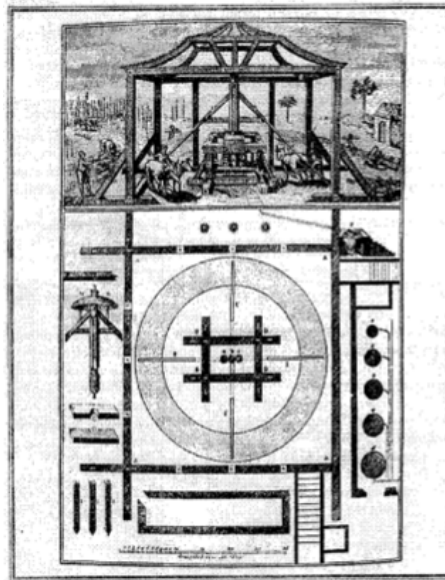


Figura1. Trapiche cubano de tracción animal, siglo XVIII. Imagen tomada del trabajo de Kusuhara, (2008), p. 83.

Otro de los espacios productivos de las haciendas azucareras fue la llamada casa de calderas, donde se encontraban los primeros chacuacos. Este lugar era un cuarto contiguo al trapiche, construido a menor nivel que éste para poder transportar por gravedad, el jugo de la caña o *guarapo*, mediante canales de madera. En el proceso productivo del azúcar, una vez transportado el

jugo de caña al cuarto de calderas, donde se colocaba en recipientes de cobre, también llamados calderas o pailas, era cocido, concentrado y pasado por seis de estos recipientes. Cada uno de ellos tenía diferentes características: el más grande y delgado era el primero, y conforme el jugo avanzaba de una caldera a otra, recibía mayor fuego directo y se iba concentrando más; por ello las calderas iban disminuyendo de tamaño y aumentando su grosor, evitando así que se quebraran. Cada uno de estos recipientes era llamado de diversas maneras según su función, ya sea la de recibir el jugo de caña o la de melar, entre otros usos. La primera caldera y la última, llamada tacha o tacho, eran las más importantes, las intermedias podrían suprimirse dependiendo de la cantidad de producción (Scharrer, 1997). Debido a que las calderas eran muy grandes (1.5 m de profundidad por 1.5 m de diámetro), este cuarto generalmente requería de gran espacio. Cerca de la primera caldera, había un tanque que recibía el jugo de caña, debía estar ubicado a menor altura que el nivel del trapiche. De igual manera, las calderas también debían tener una altura óptima para que el personal encargado, conocido como calderos, pudieran pasar el jugo de una caldera a otra (ver figura 2). Este espacio era el único en el que se colocaban candiles para que se pudiera trabajar hasta la noche.

El Dr. Ikuo Kosuhara cita a Scharrer (1997, pp. 92-93) en su tesis para la obtención de grado, donde comenta que las hornallas estaban ubicadas en un espacio contiguo a la casa de calderas, en donde se localizaban las chimeneas (ver figura 2). Cerca del muro que separaba estos dos espacios, se encontraban las pailas, acomodadas en fila, cada una con un horno que era alimentado con el bagazo sobrante de la molienda de caña. Por medio de los chacuacos se liberaban los gases tóxicos, producto de la combustión de las hornallas. De la misma manera que las calderas, los hornos se encontraban en fila y cada uno de ellos requería un chacuaco que, en conjunto, formaban una hilera de 4 a 6 chacuacos. Estas estructuras esbeltas eran aproximadamente 4 m más altos que los cuartos de calderas y de hornallas.



Figura 2. Casa de calderas de la hacienda Atlihuayan. Foto y edición propia (2014).

Los espacios dedicados a la producción de azúcar descritos aquí se dieron en las primeras haciendas construidas en el siglo XVI en México y, particularmente las del estado de Morelos. En este trabajo son de particular importancia las chimeneas o chacuacos; estos primeros chacuacos se construyeron de mampostería de tabique y piedra, cubiertos con morteros de cal, y su sección transversal generalmente tenía geometría cuadrada.

Como ya se mencionó anteriormente, las características que permitieron el desarrollo de la producción azucarera en Morelos, fueron principalmente las características geográficas y climáticas, pues favorecieron la introducción y sembradío de caña. Otros factores importantes que beneficiaron la producción de azúcar en la zona fue la gran cantidad de población indígena disponible, cuya tradición del trabajo organizado bien implementado, acostumbrado a rendir tributos a los grupos dominantes contribuyó al desarrollo de esta industria (Scharrer, 1997, p. 16). Finalmente, este periodo tuvo una crisis que fue parte aguas para la supervivencia de esta industria, ya que entre 1690 y 1680, factores climáticos y demográficos provocaron que los productores de caña abandonen sus

cultivos, rentando sus propiedades y tierras para el cultivo de diversos productos, tales como: maíz, frijol, arroz, calabaza, melón, sandía. Aunque más tarde, esto generó un auge en la economía campesina.

1.4 Las haciendas azucareras en Morelos después de la Revolución Industrial

En las haciendas azucareras de Morelos, construidas después de la segunda mitad del siglo XVIII, cuando se dio la Revolución Industrial en Europa, los chacuacos de grandes alturas y geometría circular fueron los más comunes. En este periodo las haciendas empezaron a producir panela y aguardiente; este último fue conocido como “chiringuirito”, y era obtenido de las mieles residuales de la caña de azúcar, una bebida barata y muy apreciada que fue clandestina hasta 1961. No obstante, estos dos productos se empezaron a producir industrialmente debido a su legalización, sin embargo, la principal función de las haciendas azucareras siguió siendo la producción de azúcar blanca para la exportación y consumo de las clases pudientes de la Nueva España (Scharrer, 1997, p. 14). La producción de azúcar en Morelos mejoró en esta época con la introducción de maquinaria. En 1880 fue cuando se inició el proceso de modernización en la producción de azúcar en Morelos. La transformación de la caña en azúcar refinada o estándar era realizada a través de una serie de procesos industriales llevados a cabo dentro de los ingenios azucareros que se explicarán en los siguientes párrafos.

La hacienda de Santa Clara, ubicada en el actual municipio de Jonacatepec, fue la primera en implementar maquinaria con el método de centrifugado que transformó radicalmente las técnicas de producción (Toussaint, 1997). En consecuencia, aumentaron las tierras dedicadas al cultivo de la caña para lograr mayor producción, quitándole tierras a la población indígena. La importancia de la industria azucarera aumentó en el interior del país, pasando del 38.6% (en el año 1906) al 56% (durante el periodo de 1892 a 1910); esto se dio debido a que el desarrollo de Morelos fue muy intenso, de tal manera que sólo fue equiparable al registrado en Bahía Brasil (Jiménez, 1986, pp. 4-13). Para esto, a principios del siglo XX se mantenían 37 de los ingenios morelenses en funcionamiento, según Ward Barrentt (1973).

En pocos casos, dentro de este proceso de modernización y de expansión, los trapiches se fueron considerando extensiones de los grandes ingenios ya modernizados, en los que se puede observar la culminación del elemento más representativo de esta industria: el chacuaco. Como se comentó anteriormente, estos elementos fueron de gran altura y su estructura es muy esbelta, si los comparamos con los primeros construidos en el siglo XVI.

1.4.1 Proceso de producción y espacios requeridos dentro de las haciendas azucareras.

Paralelamente con el incremento de la producción azucarera, la arquitectura de las haciendas se fue modificando para responder a las necesidades de la industria. La construcción de los grandes ingenios al lado de los campos de cultivo de la caña respondió a las características de esta planta y a su vulnerabilidad, pues es necesario procesarla inmediatamente después de ser cortada para aprovecharla al máximo (ver figura 3).

En una primera etapa del proceso de producción, la caña de azúcar se recibe en las básculas, donde es pesada y posteriormente trasladada al patio de recepción llamado batey. Este patio es de magnas dimensiones, en función de las grandes cantidades volumétricas que solían recibirse de caña. Este espacio estaba destinado a preparada la caña de azúcar para la molienda o para almacena temporalmente, por lo general era procesada de inmediato. Posteriormente se ingresa en las mesas de alimentación de caña para dirigirla al conductor principal del molino (Hernández *et al.*, 2013). En las primeras haciendas azucareras, la molienda era realizada en el trapiche, y complementando lo anterior, después de utilizar tracción animal, funcionó con energía hidráulica y finalmente, terminó su transformación con la invención de la máquina de vapor. En esta última etapa, la extracción del jugo de la caña comienza con la alimentación al molino y pasa por el nivelador del conductor de caña; el cual está montado sobre unos ejes colocados a la entrada del conductor; éste es accionado por una turbina alimentada por vapor, provisto de fragmentos de placas metálicas cuya función es mantener un nivel constante de caña. Posteriormente se encuentra el llamado “juego de cuchillas” cuya característica distintiva es que al momento de girar se van cortando las cañas en astillas de regular tamaño para facilitar el paso por

la desfibradora que rompe las astillas recibidas facilitando la extracción del jugo en el tándem de los molinos (Hernández *et al.*, 2013).

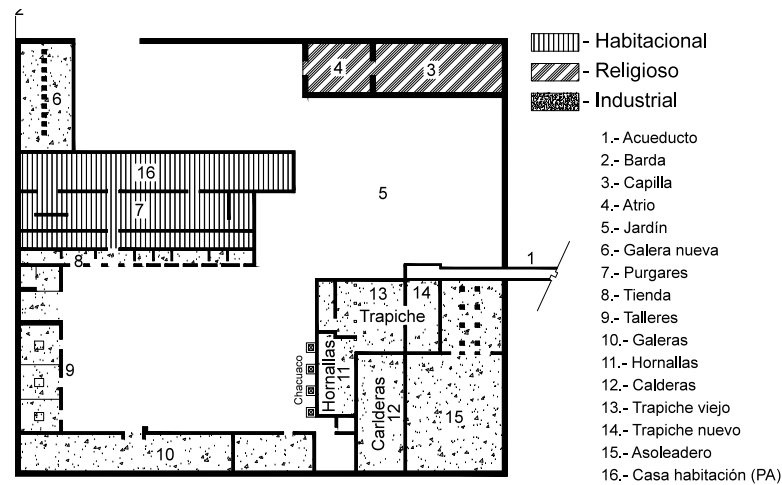


Figura 3. Esquema de los espacios típicos de una hacienda azucarera. Elaboración propia en base al trabajo de Toussaint, (1997), p. 248.

Siguiendo el proceso anterior, en el momento de la evaporación del jugo se elimina el agua presente. Este proceso se da en evaporadores de múltiple efecto al vacío, que consisten en una solución de celdas de ebullición dispuestas en serie. Al comenzar la ebullición se generan vapores los cuales sirven para calentar el jugo, logrando así el punto de ebullición en cada evaporador (Hernández, Francisco J. 2013). Por otro lado, en la primera etapa, el proceso se realizaba en la casa de calderas, separando las impurezas del jugo; los jugos de la caña eran sometidos a fuego directo (alimentado por el bagazo generado en la molienda) dentro de las pailas, pasando de una paila a otra, estas poco a poco disminuían su diámetro y conforme se pasa de una a otra se van limpiando las impurezas que puedan estar en las mieles del azúcar. Por el contrario, conforme se cambiaba de paila, el fuego iba aumentando

para lograr la concentración del azúcar. Debe mencionarse que la última paila llamada tacho, era de menor tamaño, pero más gruesa y pesada, ya que en ella se aplicaba el fuego más intenso en donde se terminaba la concentración y se procedía a la cristalización de la meladura pasando el guarapo concentrado a un recipiente de cobre poco profundo pero extenso llamado resfriadero (Scharrer, 1997).

Regresando al proceso de fabricación del azúcar ya modernizado, se procede a la cristalización de la meladura la cual se convierte por una parte en cristales de sacarosa. En el proceso actual, las partes son separadas a través de máquinas centrífugas que giran hasta 1,800 revoluciones por minuto, de tal forma que la miel reprocesada sufre un efecto de agotamiento y se convierte en miel final o melaza. En otro proceso el jugo se funde y se cuela para eliminar cualquier sólido que pudiera contener, y así es obtenida azúcar moscabada (Hernández *et al.*, 2013). En las primeras haciendas este proceso tenía lugar en el mismo sitio que la casa de calderas y el cuarto de hornallas, donde se encontraba el área de resfrías y el tendal, con tanques hundidos para enfriar las mieles en algunos casos. Era muy común que bajo estos sitios se construyeron canales para aguas de lavados, para los residuos y espuma, o para el propio guarapo que era traído desde el trapiche. A la par, la hornalla es un espacio adyacente al cuarto de calderas, generalmente cubierto por una bóveda de cañón corrido; el nivel de este espacio usualmente es inferior al que tenía el cuarto de calderas, arquitectónicamente hablando esta característica espacial responde a la función y a la organización de la propia empresa. Además, durante el siglo XVIII se legaliza el consumo y venta del aguardiente, e incluso se especializa su producción, dedicándole un espacio exclusivo al igual que en el proceso de producción del azúcar, en donde la presencia del fuego directo era indispensable (Jiménez, 1986). A este espacio se le llamó estufa, y en él se colocaban los alambiques los cuales eran requeridos para destilar las mieles finales del azúcar para servían para obtener el aguardiente. Estos espacios en donde se requería mantener temperaturas altas se caracterizaban por cubiertas de bóvedas de cañón corrido que ayudaban con esta encomienda (Scharrer, 1997). El diseño y disposición de los espacios en esa época respondían a la compleja tarea que representaba el proceso de cocimiento y concentración de las grandes cantidades de mieles que se obtenían de la caña de azúcar.

Siguiendo con el proceso actual del azúcar estándar, mencionado anteriormente, se agrega cal y ácido fosfórico para clarificar y se filtra una vez más, quitando las impurezas. De este proceso se obtiene un licor blanco de azúcar, posteriormente pasa a unos evaporadores simples llamados tachos en donde se cristaliza, obteniendo una mezcla llamada templa. Finalmente, se procede a la centrifugación, secado y enfriamiento (Hernández *et al.*, 2013). Paralelamente a su etapa más temprana, este proceso era llevado a cabo en el purgar, lugar en donde después de que la meladura se encontrara tibia sobre el resfriadero, esta era vertida en formas de barro para someterla al proceso de purga. En este espacio se cristalizaba y blanqueaba la masa de azúcar mediante el secado y escurrimiento de las mieles en formas (forma de cono) de barro, las cuales eran colocadas sobre los porrones, que eran terrones u ollas de barro. Este proceso podía durar de 10 a 15 días, sin embargo, el proceso total de purga podía durar de 30 a 45 días. Posteriormente se sacan las formas de barro al asoleadero o batey en donde eran expuestos los panes de azúcar sobre un tepetate para secarlos al sol, esto tardaba entre 1 o 2 días. Para lograr la blancura del azúcar, anteriormente se utilizaba la greda, lo más pura posible. Finalmente, el proceso de la elaboración del azúcar termina y se empaca en los talleres y bodegas, envuelta en papel y empacada en telas de cuero (Scharrer, 1997). En la tabla 2 se enlistan todos los espacios y elementos de una hacienda azucarera morelense, en donde cabe distinguir la relación de la ubicación del chacuaco con el orden establecido entre la casa de calderas y el cuarto de hornallas.

Tabla 2. Espacios y elementos construidos de las haciendas azucareras de la época industrial.

USO	ESPACIOS Y ELEMENTOS CONSTRUIDOS	DESCRIPCIÓN
Industrial	Batey	Es un gran patio donde se recibía la caña y se almacenaba antes de empezar la molienda.
	Acueducto	Elemento requerido en los ingenios que adoptaron la fuerza hidráulica para el funcionamiento del trapiche.
	Asoleadero	Espacio abierto que servía para secar los paneles de azúcar. Era común utilizar las azoteas con sistemas de techos corredizos de diseños sofisticados de tejamanil que protegían el producto de noche o de la lluvia.
	Trapiche (casa de molienda)	Lugar donde se extraía el jugo de caña mediante el paso mecánico de tres rodillos. En las primeras haciendas era utilizada la fuerza animal y posteriormente, la rueda hidráulica.
	Casa de calderas	En este espacio, el jugo de la caña o “guarapo” era sometido al fuego en grandes peroles o “tranchos”, con el fin de separar las impurezas y convertirlo en melado, un líquido listo para cristalizar el azúcar.
	Cuarto de hornalla	Adyacente al cuarto de calderas, se encontraban las hornallas en un espacio generalmente cubierto por una bóveda de cañón corrido, donde se quemaba el bagazo a fuego directo.
	Cuarto de estufas	Edificios construidos de varios niveles en la segunda mitad del siglo XIX, destinados para los generadores de energía eléctrica o dinamos y las nuevas calderas generadoras de vapor.
	Chacuaco	Este elemento es una chimenea industrial que sirve para liberar los gases tóxicos a una altura adecuada para no afectar a seres vivos.
	Purgar	Local alargado con poca o nula ventilación donde se dejaban las vasijas de barro que guardaban las mieles incristalizables.
	Bodegas	Espacio en donde se almacenaba el azúcar, envuelta en papel y empacadas en talegas de cuero, así como también las mieles en porrones de barro.
Religioso	Capilla	Construcción que usaban los trabajadores y los dueños. En algunos casos tenían acceso privado sólo para estos últimos.
Administrativo	Tienda de raya	Generalmente estaba a un lado de la puerta principal y servía para abastecer a los indios de productos básicos.
Habitacional	Calpanería	Espacio destinado como dormitorio de los trabajadores.
	Casa grande	Espacios habitacionales de los dueños.

Nota: Elaboración propia en base al trabajo de Scharrer (1988), Toussaint (2010) y Von Mentz (1997).

1.5 Las haciendas azucareras como patrimonio arquitectónico pre-industrial e industrial.

La conservación de los espacios construidos dedicados a la transformación de materias primas en diversos productos, edificados en el pasado pre-industrial e industrial de una comunidad, ayuda a preservar parte de su herencia cultural. Pueden analizarse los edificios, las condiciones de trabajo o los procesos técnicos y productivos de otros tiempos, incluso antes de la Revolución Industrial. Este es el caso de los espacios que albergaron las edificaciones y elementos que sirvieron para procesar la caña de azúcar en el estado de Morelos. La identificación de estos elementos contribuye a poner en valor los vestigios materiales y los procesos antes mencionados.

Por ello, para aproximarnos a una mejor comprensión de los cambios del chacuaco antes y después de la Revolución industrial, es importante analizar la relación entre la tecnología constructiva y los mecanismos fabriles bajo los cuales se generaron los elementos estudiados aquí. En este marco, se presentan algunas definiciones básicas relacionadas con la arquitectura preindustrial e industrial. Para estudiar los chacuacos construidos después del siglo XVIII resulta imprescindible analizarlos de acuerdo al lugar geográfico en el que se ubican, de las fuentes de energía, materias primas disponibles, espacios de trabajo y organización productiva.

Angus Buchanan (1980) define la arquitectura industrial como “aquel estudio que trata o tiene por objeto el descubrimiento, análisis, registro y preservación de los restos industriales del pasado, para lo que es preciso recurrir al trabajo de campo y, en ocasiones, a las técnicas excavatorias de los arqueólogos”. El estudio del patrimonio industrial es una disciplina integral que toma en cuenta el inmueble, el artefacto y la maquinaria, así como el documento y el registro oral. El análisis dentro de esta disciplina debe integrar las particularidades de la empresa o industria, en este caso el proceso fabril de la caña de azúcar y su relación con el chacuaco. En particular, entre los criterios de valorización y selección de los bienes industriales bajo los cuales se cataloga el patrimonio industrial pueden considerarse los siguientes:

- A) Valor testimonial, singularidad y/o representatividad tipológica, autenticidad e integridad;
- B) Valor histórico-social, tecnológico, artístico-arquitectónico y territorial;
- C) Posibilidad de restauración integral, estado de conservación, plan de viabilidad y rentabilidad social y situación jurídica

(Civera, 2012 b).

Dentro de esta definición se incluye el concepto de arqueología industrial como “un método interdisciplinario para el estudio de toda evidencia, material o inmaterial, de documentos, artefactos, estratigrafía y estructuras, asentamientos humanos y terrenos naturales y urbanos, creados por procesos industriales o para ellos” (Civera, 2011 a). Dicha disciplina también resalta la importancia del periodo histórico, tomando en cuenta las raíces preindustriales y protoindustriales. A continuación, se enumeran los valores del patrimonio industrial que resaltan la importancia de investigar, catalogar y registrar estos espacios:

1.- El patrimonio industrial es la evidencia de actividades que han tenido, y aún tienen, profundas consecuencias históricas. Los motivos para proteger el patrimonio industrial se basan en el valor universal de esta evidencia, más que en la singularidad de sitios peculiares.

2.-El patrimonio industrial tiene un valor social como parte del registro de vidas de hombres y mujeres corrientes, y como tal, proporciona un importante sentimiento de identidad. Posee un valor tecnológico y científico en la historia de la producción, la ingeniería, la construcción, y puede tener un valor estético considerable por la calidad de su arquitectura, diseño o planificación.

3.-Estos valores son intrínsecos del mismo sitio, de su entramado, de sus componentes, de su maquinaria y de su funcionamiento, en el paisaje industrial, en la documentación escrita, y también en los registros intangibles de la industria almacenados en los recuerdos y las costumbres de las personas.

4.-La rareza, en términos de supervivencia de procesos particulares, tipologías de sitios o paisajes, añade un valor particular y debe ser evaluada cuidadosamente. Los ejemplos tempranos o pioneros tienen un valor especial (The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage, 2003).

De esta manera, las haciendas azucareras en Morelos, como parte de la arquitectura que tiene sus raíces en la época preindustrial e industrial, es un patrimonio relevante que requiere atención para conservarlo convenientemente. Particularmente, el chacuaco, como un elemento fundamental de la industria azucarera, puede ayudarnos a entender cómo ésta se transformó y evolucionó junto con los avances tecnológicos derivados de la revolución industrial en Europa, desde los primeros zangarillos del siglo XVI, hasta los grandes ingenios azucareros de los siglos XVIII y XIX.

1.6 La función del chacuaco en las haciendas azucareras.

En este apartado se explica brevemente la función del chacuaco y su interacción con los espacios de producción dentro de una hacienda azucarera morelense. Es de gran importancia entender que el humo provocado por la combustión, la cual era generada en las calderas a fuego directo para la producción de la melaza, tiene que ser direccionado a cielo abierto mediante las chimeneas industriales (López Gracia, Martínez Arturo & de Mazarredo Luis, 2011). Este elemento arquitectónico-industrial sufrió transformaciones intrínsecas a lo largo de la historia de esta industria, porque en los siguientes párrafos se describe los principales factores relacionados con la evolución de este elemento.

Como ya se mencionó anteriormente, se pueden identificar los chacuacos de la primera etapa de esta industria, mediante su geometría cuadra y con una altura máxima de 4m, sin embargo, el éxito del cultivo de caña incentivó a los dueños a expandir los terrenos destinados a este monocultivo. En consecuencia, aumentó en gran medida la zafra, de tal forma que se tuvo que modificar los sistemas de producción; la construcción de un solo chacuaco de mayores dimensiones, conectado mediante canales subterráneos al cuarto de hornalla. Por otro lado, también se tiene que enfatizar en la producción del aguardiente, que con su legalización una necesidad de modernización de las haciendas, por lo que empezaron a construirse espacios como el cuarto de estufa. Para la producción del aguardiente también era necesario fuego directo, por lo que se introdujeron unos recipientes llamados alambiques, los cuales también estaban conectados a los chacuacos mediante estos canales subterráneos (Scharrer, 1997). Es de esta forma que se fueron modificando los espacios y los elementos como el chacuaco, el cual adquirió una altura y también una geometría circular, en ocasiones dejando expuesto el sistema constructivo. Es en esta etapa en donde se requiere una mayor especialización de la mano de obra para la construcción de los chacuacos de gran altura.

La función principal del chacuaco es contribuir a la higiene de su entorno, ayudando a la conducción de humos y gases a una altura suficiente que no perjudique a seres vivos. Esto se dio después de las denuncias realizadas por los habitantes, debidas a los malos olores y los humos producidos por la falta de altura de las chimeneas (López Gracia, 2007, p. 1). Sin embargo, el aumento del tiro de los chacuacos no solo respondía a cuestiones de salubridad, sino también a que la mayor altura mejora la succión de los gases, mejorando así la combustión de los hornos y disminuyendo la cantidad de gabelo y leña (López *et al.*, 2011). De esta manera podemos

darnos cuenta de la relevancia que tienen las características geométricas de los chacuacos para la producción del azúcar.

En particular, el interés de este subcapítulo es identificar la chimenea industrial como un elemento indispensable para la producción del azúcar, así como también comprender su función en relación con los espacios industriales; los cuartos de calderas, hornallas y estufas son los que tienen relación directa con este elemento (ver figura 4). Finalmente se evidencia como las necesidades de la propia industria fueron las que detonaron los procesos de modernización en las haciendas, incluyendo el chacuaco.

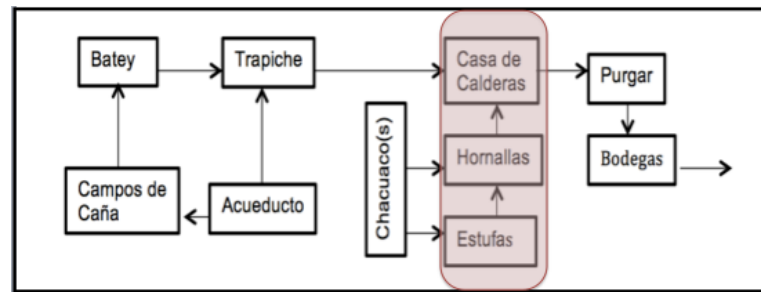


Figura 4. Espacio y proceso productivo de la caña de azúcar. Diagrama de elaboración propia basado en el trabajo de Brígida von Mentz, (1991).

Capítulo 2

Estructuras históricas esbeltas de mampostería

En el presente capítulo se aborda el cálculo tradicional para la construcción de torres y chimeneas, considerando que los chacuacos, por ser estructuras de mampostería no reforzada de gran esbeltez, requieren un tratamiento particular. Son presentadas aquí algunas reglas de proporción de tratados antiguos de arquitectura que sirven para determinar las dimensiones y la geometría de estos elementos. También se detallan las bases del método de equilibrio límite y el procedimiento para el cálculo de líneas de presiones que ayudan a identificar el comportamiento de construcciones de mampostería ante cargas a las que comúnmente están sometidas, como son, peso propio y viento, en el caso de las altas chimeneas. El estudio de los sistemas constructivos, de los materiales y la influencia de la geometría de los chacuacos que se detallan en este capítulo ayudan al estudio de la evolución constructiva y las condiciones de su estabilidad. Ambos temas serán tratados.

2.1 Chimeneas industriales

Los chacuacos están contruidos de mampostería de tabique con la que desarrollaron una técnica particular para lograr su estabilidad a pesar de las grandes alturas que suelen tener. La variedad de aparejos utilizados en las grandes chimeneas industriales puede observarse gracias a que muchas de ellas no fueron recubiertas, sobre todo las construidas a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX.

La mampostería es un sistema constructivo en el que se unen y combinan piedras o ladrillos con o sin mortero, que incluye una gran variedad de modalidades constructivas. En particular, los tipos de mampostería que interesan en este trabajo son los

realizados con tabique rojo recocido, del que existen distintos tipos, según la clase de piezas de barro usadas; entre ellos está: el tabique tierno, el tabique recocido y el tabique recorcho (de excesiva cocción), cuya utilización depende del tipo de función que tenga, ya sea estructural, de recubrimiento u ornamentación. El tabique recocido es el destinado en la construcción de las chimeneas industriales estudiadas en este trabajo y, generalmente utilizado para elementos estructurales de soporte debido a sus propiedades mecánicas, como su buena resistencia a la compresión y al esfuerzo cortantes (Villasante Esteban, 1995, pp. 163, 164), la cual está en función del arreglo, acomodo o aparejo de los materiales y de las características mecánicas de cada elemento aislado. En el caso particular de las chimeneas industriales, los tabiques tienen dimensiones específicas (en consideración del aparejo a utilizar), sin embargo, la relevancia recae en la calidad de este material, la calidad del mortero y la ejecución del cuatrapeo de las piezas, ya que debido a su condición de esbeltez, se encuentran sujetas a esfuerzos de tensión provocados principalmente por el viento y en ocasiones, por los movimientos sísmicos.

Continuando con el sistema constructivo, la función principal del mortero consta en unir los bloques para formar una sola estructura, y en él resulta de gran importancia la calidad de la mezcla. La utilización de los morteros de cal y arena en edificios antiguos, como los chacuacos, se dio desde el siglo XVI, y continuó su uso hasta finales del siglo XIX. La cal es un material idóneo para la construcción, su capacidad cementante hace que adquiera resistencia al presentarse el proceso de carbonatación, cuando está en contacto con el aire. Es sabido que los romanos contribuyeron a su mejoramiento al agregar puzolana, un material de origen volcánico que produce la carbonatación o endurecimiento del mortero sin necesidad de exposición al aire (Meli Roberto, 1998, p. 28). De igual manera, en la Nueva España los morteros contenían cal, arena de tezontle, arcilla y caliche; este último particularmente característico de las construcciones de la región que se estudia en este trabajo (Ledesma Laura, 2011, p. 14).

Características de las chimeneas industriales o chacuacos

Como ya se comentó anteriormente, las chimeneas industriales de las haciendas azucareras fueron construidas y diseñadas desde el siglo XVI, y han servido para desalojar los humos tóxicos producidos por la combustión generada dentro del proceso de obtención del azúcar. Cabe recordar aquí, lo señalado en el capítulo anterior, de cómo la altura es parte fundamental de su diseño, ya que favorece la combustión y al mismo tiempo disminuye la cantidad de combustible generando así un ahorro económico. Estas chimeneas están compuestas de tres partes: corona, pila o fuste y base (Ivorra Salvador, 2014). La corona es un elemento ubicado en la parte superior de la chimenea, cuya función es puramente ornamental; en algunos casos representa la marca distintiva del constructor. La pila o fuste es el elemento más importante, ya que conduce el humo hacia arriba, y la altura, como ya se comentó, mejora la succión y combustión en los hornos. Su sección suele ser rectangular o circular en los chacuacos morelenses. Por último, la base, que forma la parte inferior de la chimenea y es generalmente cuadrangular u octogonal con altura variable. Ivorra (2014) comenta que su función es la de distribuir las cargas sobre el suelo para evitar fallos en la cimentación, además de que es en este espacio en donde se encuentra el acceso al interior de la chimenea.

Como ya fue mencionado, los españoles introdujeron estas chimeneas al continente americano, junto con la industria azucarera; su edificación en Europa era realizada por constructores especializados que transmitían su conocimiento de generación en generación, entre familias constructoras de chimeneas industriales de fábricas de ladrillo. Algunos investigadores contemporáneos como Gracia López (2011), comenta que la base de estas chimeneas es diseñada conforme a la altura del fuste; el tamaño del hueco en la corona sirve de dimensión base para determinar el resto de las proporciones de la chimenea, de tal forma que permite al constructor moverse con libertad en su interior para realizar el trabajo de pegado y acomodo del ladrillo.

Siguiendo con la construcción tradicional de las chimeneas industriales españolas, en lo que respecta al uso del andamiaje para su construcción, la manera más común es trabajar por dentro de la chimenea al mismo tiempo que se avanza con la edificación de las paredes. De igual manera, se van anclando unas barras de hierro que sirven como escaleras al interior del elemento; lo anterior

sirve como apoyo para colocar el andamiaje y un punto de agarre para la polea, la cual sirve para el subministro de material y herramienta. López G. (2011), quien ha estudiado de manera exhaustiva chimeneas helicoidales valencianas, comenta que el fuste de la chimenea de *Antonio Fábregas Montepó* es dividido en tramos de entre 4 y 5 metros; cada tramo tiene un determinado número de ladrillos menor que el tramo inferior, de tal manera que la chimenea va reduciendo su espesor con la altura. Es de esta manera que la sección en la parte inferior de la chimenea tiene mayor grosor en el muro con respecto al resto del fuste; de esta manera así se va formando la esbeltez, ayudando a la estabilidad en todo el elemento (López *et al.*, 2011).

La información proporcionada por los artículos de investigadores españoles sobre la edificación de las chimeneas industriales puede ayudarnos a entender cómo se llevó a cabo la construcción de los chacuacos de las haciendas en Morelos. De todos los documentos consultados referente a las haciendas de México y Morelos, hay muy poca información relacionada a los métodos empleados para su construcción o reglas de dimensionamiento. Entre los datos encontrados está información muy general en la que se comenta de una manera muy breve su función dentro de la hacienda. En este marco, el presente trabajo es un primer acercamiento a los chacuacos morelenses que poco se han estudiado en nuestro país, la información encontrada en los documentos citados ayudó a tener un marco más amplio en la construcción de chimeneas industriales de mampostería

2.2 Cálculo tradicional de estructuras esbeltas de mampostería en Europa.

Las reglas empíricas de tipo geométrico fueron desarrolladas por constructores de épocas pasadas, antes de para el dimensionamiento de elementos estructurales de mampostería y pueden encontrarse en tratados antiguos de arquitectura; en esta tesis son de particular importancia las aplicables a estructuras de mampostería que tienen gran esbeltez. Su empleo se dio desde periodos anteriores a la época medieval con la construcción de torres, teniendo una gran difusión en toda Europa y oriente medio. Estas reglas pueden clasificarse en reglas gráficas de proporción y fórmulas aritméticas. Al respecto, Huerta (2016) comenta en "*La Ciencia Medieval de las Estructuras*", que estas técnicas no estuvieron suficientemente desarrolladas, sino hasta mediados

del siglo XIII y llegaron al continente americano en el siglo XVI con los constructores españoles, donde muy probablemente se siguieron usando, por ello son una parte fundamental de la presente investigación, para entender la historia evolutiva de las chimeneas en el estado de Morelos.

Las reglas geométricas para construir estructuras esbeltas de mampostería, como torres y chimeneas, han sido abordadas por diversos tratadistas desde la antigüedad, la edad media, el gótico tardío alemán y finalmente, el renacimiento. Vitruvio es el arquitecto tratadista romano más antiguo que se conozca, en su obra él aborda la construcción de las torres desde una perspectiva militar, algunas de sus aportaciones se basan en la observación de otras torres de ciudades más antiguas como las de Babilonia. Señala que para su construcción se dio la utilización del tabique recocado, no menciona ninguna regla, sólo da las dimensiones que se consideran apropiadas para su construcción; refiere una altura mínima de 60 codos y ancho de 17 codos, que debe estrecharse una quinta parte de la base a su término o remate. Supone una altura máxima de 120 codos, basándose en las observaciones de las torres móviles de Diades (Ortíz, Joseph. 1787), un ingeniero militar griego que hizo un tratado de máquinas de asedio.

El tratado de Arquitectura Civil, realizado por el matemático Benito Bails (1796), quien también basa sus observaciones en las enseñanzas de Vitruvio, Palladio (1625), Delomer (1567) y Fray Lorenzo (1679), menciona que las dimensiones de los cimientos de las torres deben tener el fondo tres veces más profundo que el resto de la construcción y el hoyo o piso de suelo dos veces más grueso. Respecto a la altura, diferencia las torres, pirámides y cúpulas, tomando como regla la altura en múltiplos de 2 o 3 en relación a su base, en donde no debe de sobrepasar más de 9 veces lo de su base o menos de 4 (Bails, Benito. 1796).

Las reglas para torres en el periodo renacentista fueron propuestas por los tratadistas Alberti y Rodrigo Gil de Hontañón. En el “Compendio de Architectura y simetría de los Templos” se encuentran algunas de estas reglas del gótico tardío alemán, cuando las plantas de las torres presentaban una geometría cuadrada y la esbeltez se establecía conforme a la relación existente entre el lado de la base y la altura. Sin embargo, el parámetro más importante de su estructura se encontraba en el espesor de los muros, el cual se calculaba en proporción de su altura total. De esta manera se estableció que la pared debía tener como espesor

1/20 de la altura. Por otro lado, el tratadista italiano Alberti aportó reglas para calcular las dimensiones principales de torres muy esbeltas, las cuales se aplicaron hasta mediados del siglo XIX (Huerta Santiago, 2004). Las aportaciones de este tratadista se basaron en dos dimensiones relacionadas con la altura: la anchura de la base y el espesor de los muros. En primera instancia distingue la sección geométrica de la torre, la cual podrá ser cuadrada, redonda o variable (tabla 3).

Tabla 3. Reglas de proporción de Alberti para torres y chimeneas.

Tipo de torre	Planta	Esbeltez (h/a)		Espesor pared
		Delgadas	Gruesas	
Sencillas	Cuadrada	6	4	h/15
	Circular	4	3	
Compuestas	Variable	4		

Nota: h= altura y a= anchura de la base. Elaboración propia basado en el trabajo de Huerta (2004).

Por su parte, el tratadista español Rodrigo Gil de Hontañón abordó las proporciones geométricas estructurales de las torres de mampostería (García Simón, 1681), basándose principalmente en el cálculo de los espesores de los muros y de los estribos; de estos últimos en su coronación. De esta manera, define la esbeltez de la torre relacionando su altura con el ancho de la base, determinando que ésta será 1/4 de la altura total. Por otro lado, el espesor de muros los calcula sacando la raíz cuadrada de la altura, dividida entre dos (ver tabla 4). Un especialista contemporáneo en esta materia, Santiago Huerta (2004), comenta que Rodrigo Gil de Hontañón es un tratadista que recomienda disminuir proporcionalmente el espesor del muro con la altura, de tal forma que se va perdiendo peso por la disminución de volumen y se va generando la esbeltez del elemento; considerando al viento como un factor independiente al de la altura, ya que la fuerza de esta acción incrementa con la superficie.

Tabla 4. Reglas de tratadistas europeos para el cálculo de espesor de muros en torres y chimeneas

Tratadistas	Regla para espesor de muros de torres y chimeneas
Gótico tardío alemán	$m = h/20$
Alberti	$m = h/15$
Rodrigo Gil de Hontañón	$m = \frac{1}{2} \sqrt{h}$

Nota: h=altura y m=espesor de muro. Elaboración propia basado en el trabajo de Huerta (2004).

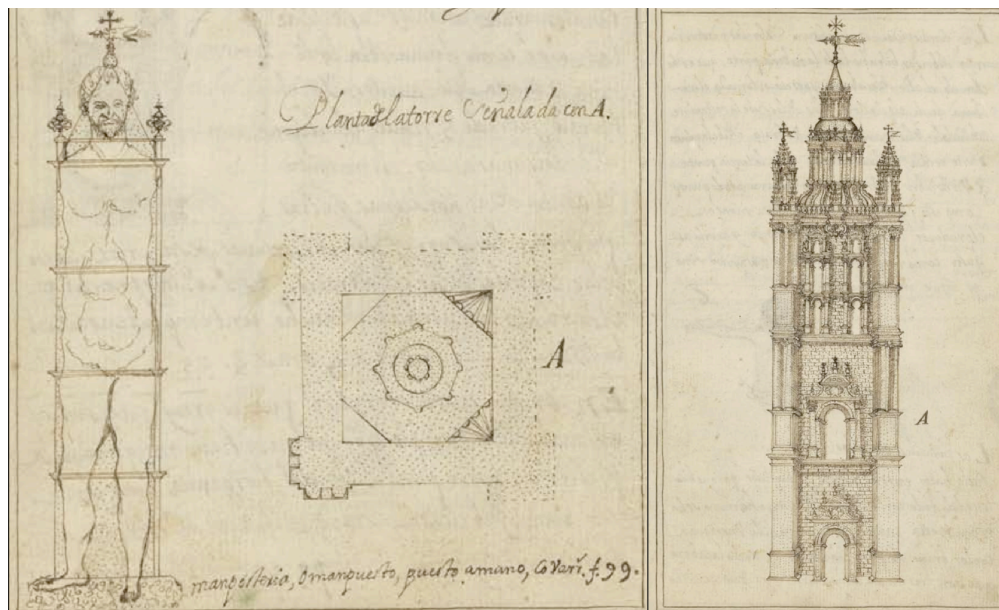


Figura 5. Comparación del cuerpo humano con una torre. García, S(1681), p. 10.

Siguiendo en esta línea, el arquitecto Simón García (1681), hace una analogía del cuerpo humano sin brazos como una torre, de tal forma que utiliza la proporción orgánica del cuerpo humano para dimensionar la torre (figura 5). En primer lugar, toma como referencia una altura de 8 unidades a partir de los hombros hasta los tobillos lo que sería el cuerpo de la torre; de los tobillos

a los pies será $1/3$ de la unidad que significa la altura de los cimientos. Para sacar la relación entre el ancho y alto, es decir, la esbeltez de una torre, se toma la medida a partir de los tobillos y cuadriplica la medida de la anchura para determinar la altura hasta los hombros. Para la cabeza que significa la “coronación y aguja o pirámide” toma como unidad la dimensión de la anchura de la torre y determina que la coronación será $5/3$ de la misma.

En cuanto a las chimeneas industriales, entre las menciones más tempranas se encuentra la del Padre Tosca, dentro de su Compendio Matemático, tomo V (1757), una característica de este tratadista es que considera las aportaciones de Galileo Galilei sobre la estructura y resistencia de los materiales. Al respecto, comenta que el centro de gravedad tiene que pasar dentro de la base que sustenta el cuerpo para que se encuentre en equilibrio. De época muy posterior, también se tiene el registro de la primera memoria científica de Fresnel (1831), quien habla sobre la altura de los faros tomando en cuenta la fuerza del viento. Rankine (1858), quien formula la teoría de estabilidad de las torres y chimeneas de mampostería, se enfoca principalmente en reconocer que las acciones del viento sobre estas construcciones pueden variar dependiendo de la orientación geométrica de estas estructuras y de los vientos dominantes (Guerra, Rosa A. 2004).

Existen otros tratadistas como Sebastián Serlio (1552), Torija (1661) o Philiberto de Ormes que hablan sobre las torres y chimeneas, pero abordan el tema desde una perspectiva estilística o de seguridad contra incendios (chimeneas en residencias); en el caso de las torres, refieren sus observaciones a las estrategias de defensa y combate bélico. Si bien, estos autores no hablan de chimeneas industriales, sí de las chimeneas construidas en viviendas-en este sentido los tratadistas ingleses recomiendan que no se pase una altura de 62 cm por encima del remate de algún tejado o la parte más alta de la bóveda.

López *et al.* (2011, 763) comentan que cuando se construyeron chimeneas después de la revolución industrial ya había iniciado la aplicación de los conceptos de mecánica en el diseño de estructuras, sin embargo, fue común que se tomara como modelo alguna proyectada y calculada previamente, es decir, seguían las reglas y experiencia de otras chimeneas para edificar las suyas.



Figura 6. Foto de la antigua casa de calderas y sus chacuacos en la hacienda Cocoyoc. Foto y edición propia (2014).

2.3 Estudio estructural de chimeneas industriales de mampostería con métodos tradicionales.

En este apartado se abordan algunas bases necesarias para estudiar la estabilidad de una chimenea de mampostería no reforzada. Como ya se mencionó anteriormente, no existen datos de los fundamentos del diseño y la construcción de este tipo de elementos en México; existen algunos trabajos abordan la estabilidad de las chimeneas industriales antiguas en Europa y en general de elementos esbeltos de mampostería, entre los que se consideran torres, agujas pináculos y faros. Ya que diversos chacuacos fueron construidos todavía durante el periodo colonial, es pertinente recurrir a estos estudios de chimeneas españolas, los cuales serán comentados con más detalle en los siguientes párrafos.

Una de las características más importantes que influye en la estabilidad de cualquier chimenea es su esbeltez, la cual se obtiene de la relación entre la altura y el ancho de base. Generalmente las chimeneas industriales europeas de mampostería tienen una esbeltez de 10, siguiendo las reglas de dimensionamiento, aunque también se pueden encontrar esbelteces de 8 y 11, (Díaz César & Gumá Ramon, 1999). López, Martínez y de Mazarredo (2011) analizan chimeneas de Valencia, España, y consideran tres aspectos para determinar la estabilidad del elemento: la capacidad resistente al propio peso, la estabilidad frente al giro de apoyo y la resistencia al viento. Hacen hincapié en la relación de esbeltez, ya que ésta determina la estabilidad frente al vuelco por giro de la cimentación y por la acción del viento. Resulta de gran importancia mencionar que la función de la base, usualmente de planta cuadrada, tenía la función nivelar el terreno y estabilizar la estructura (Florido, Amara M. 2006), característica que se observa también en lo chacuacos de Morelos.

Una de las fallas estructurales más importantes en las chimeneas es el vuelco, el cual se da cuando el eje vertical que pasa por el centro de gravedad del fuste sale del perímetro de la base, provocando cargas irregulares sobre la misma base y el terreno (López, et. al, 2011); estas irregularidades son provocadas por desplomes debidos a imperfecciones en la construcción o daños causados por acciones accidentales que generan un giro en la base de la chimenea y un desplome general del fuste de la chimenea. En este caso López, et. al (2011) considera un límite seguro frente al vuelco, cuando el eje vertical que pasa por el centro de gravedad de la chimenea queda dentro del perímetro de la base (ver figura 7).

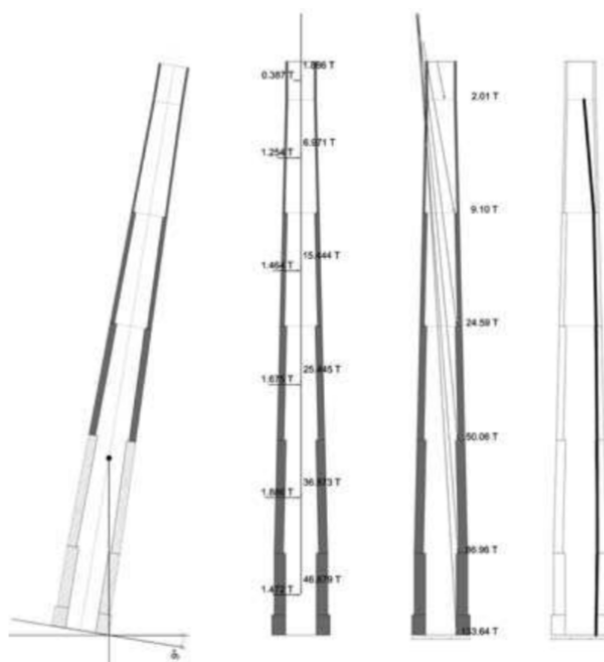


Figura 7. Vuelco de una chimenea industrial de mampostería de ladrillo. G. López, A. Martínez y L. de Mazarredo. (2011), p. 764.

La resistencia ante el viento es un factor determinante para la seguridad estructural de las chimeneas, ya que, conforme tienen más altura, mayor es la fuerza con la que golpea al elemento. Además, la relación de esbeltez favorece el incremento de la relación entre la fuerza producida por el peso propio y la carga horizontal provocada por las fuerzas del viento, generando esfuerzos de tensión en el fuste de la chimenea y, por tanto, posibles agrietamientos. El análisis de equilibrio realizado por López et al. (2011) muestra que cuando la línea de presiones sale del núcleo central, el material está sometido a tensiones que provocan fisuras horizontales a lo largo del fuste.

Siguiendo en esta línea, el trabajo de César Díaz y Ramon Gumá (1999) aborda el estudio de las chimeneas bajo un enfoque constructivo estructural y presenta el cálculo ante peso propio, vuelco y viento; en este último caso utilizaron los vientos

más fuertes de la zona y realizaron un cálculo sujeto a las acciones establecidas en la norma NBE-AE/88, en la que se establecen los parámetros para calcular la presión dinámica del viento. No obstante, la mayor aportación de este trabajo radica en la importancia de recuperar este tipo de estructuras, conocer su estado actual y dar algunas bases para su mantenimiento y garantizar su estabilidad.

Por último, el trabajo de Ivorra (2014) es muy similar a los comentados con anterioridad, en donde se habla de la patología de los materiales de chimeneas industriales, el comportamiento del sistema constructivo y detalla los problemas estructurales que presentan la mayoría de las chimeneas españolas.

2.4 Estabilidad de una estructura esbelta de mampostería sin refuerzo.

2.4.1 Cálculo de la presión estática neta p_n

El viento actúa sobre una estructura como una presión que tiene una dirección e intensidad determinadas. Cuando una masa de aire en movimiento choca contra un elemento, tiende a volcarlo, de tal manera que puede desplomarse si es de gran intensidad. Se sabe que la estabilidad de un elemento ante la acción del viento está relacionada con el peso propio del mismo, ya que le ayuda a estabilizarlo y oponerse al vuelco. Al respecto, Huerta (1999: 496) señala que si suponemos a la velocidad del viento como una constante, independiente de la altura de una torre, “la acción del viento crece con la superficie (cuadrado de la longitud) mientras que el peso de la torre crece con el volumen (cubo de la longitud)”, es decir, que una torre de gran volumen es más estable que otra pequeña, por ello este autor señala que las torres pequeñas tienen una relación espesor-altura del muro más grande que las torres grandes.

De acuerdo con la Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento (2017) y el Manual de Obras Civiles para diseño por viento (MOCV, 2008), la revisión de una estructura bajo los efectos del viento debe hacerse considerando la acción estática del viento y la dinámica, cuando es sensible a este tipo de efectos. Ambas normatividades clasifican a las estructuras según su respuesta ante la acción del viento en cuatro tipos. Las chimeneas que se estudian en este trabajo son del Tipo 2 y 3, ya que tienen una esbeltez mayor que 5 (relación entre la altura y la mínima relación en planta) y planta generalmente rectangular y circular respectivamente; están incluidas como estructuras del

grupo A. La Normas señalan que para el estudio de los efectos del viento sobre chimeneas se deben incluir los efectos estáticos y dinámicos causados por turbulencias. Los alcances de este trabajo no incluyen los efectos dinámicos, ya que el objetivo hacer un estudio comparativo del efecto estático del viento en los cuatro casos de estudio.

Para calcular los efectos estáticos del viento sobre una estructura se toma como base a la velocidad de diseño V_D , que puede obtenerse con la siguiente fórmula, donde F_{TR} es un factor correctivo que considera la topografía y la rugosidad del terreno; F_{tz} es un factor que toma en cuenta la velocidad con la altura; y V_R es la velocidad regional:

$$V_D = F_T F_{tz} V_R$$

Con los factores que se calculan en el apéndice A, podemos calcular la velocidad de diseño:

El primer tramo: $V_D = F_T F_{tz} V_R = (1)(1)(130) = 130 \text{ km/h}$

El segundo tramo: $V_D = F_T F_{tz} V_R = (1)(0.745z)(130 \text{ km/h}) = 96.85 z^{0.128} \text{ km/h}$

De acuerdo con el MOCV (2008), el viento genera presiones sobre las superficies de una construcción que varían con la intensidad de la velocidad y la dirección del viento. La presión actuante sobre una construcción p_z se le denomina empuje medio o estático y es producido por la velocidad de ráfaga. Esta presión se obtiene con la siguiente fórmula, donde C_p es un coeficiente de presión (adimensional) y q_z es la presión dinámica de base, la cual es una presión del viento sobre una superficie plana perpendicular a una altura z sobre el nivel del terreno:

$$p_z = C_p q_z$$

El valor de q_z se obtiene con la siguiente ecuación, donde V_D es la velocidad básica de diseño (km/h), G es el factor de corrección por temperatura y por altura, respecto al nivel del mar (adimensional):

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

El valor de G se obtiene con la siguiente fórmula, donde Ω es la presión barométrica en mm de Hg y τ es la temperatura ambiental en °C. Para una altitud de 1330 msnm en la región de Cuautla, la presión barométrica es aproximadamente de 635 mm de Hg (MOCV, 2008: Tabla 4.2.5):

$$G = \frac{0.392\Omega}{273 + \tau} = \frac{(0.392)(635)}{273 + 35} = 0.808$$

El cálculo del coeficiente de presión C_p es la relación de la presión actuante sobre la construcción o sobre una de sus superficies, con la presión dinámica de base para una altura dada (MOCV, 2008); determina el efecto de la variación de la presión sobre una construcción dependiendo de su geometría, de la intensidad de la velocidad y de la turbulencia del flujo del viento.

De acuerdo con el inciso 4.3.2.11 del MOCV (2008), **la presión neta estática**, p_n , debida al flujo del viento sobre una chimenea se calcula con la siguiente ecuación, donde C_a es el coeficiente de arrastre (tabla 6), K_{re} es el factor de corrección por la relación de esbeltez para la altura total de la estructura (adimensional) (tabla 7) y q_z es la presión dinámica de base (MOCV, 2008).

$$p_n = K_{re}C_a q_z$$

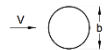
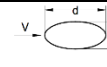
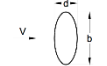
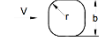
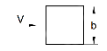
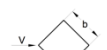
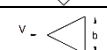
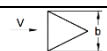
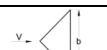
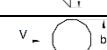
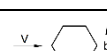
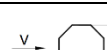
Para formas cilíndricas: $p_n = (K)(b)(36 \text{ m/s})(q_z)$

Para formas prismáticas: $p_n = (K)(2.2)(q_z)$

La fuerza estática de arrastre se determinará multiplicando la presión neta por el área de la chimenea sobre un plano vertical. Si la relación de esbeltez H/b (H es la altura total y b es el ancho promedio) es mayor que 5 o si el primer periodo en la dirección del viento es mayor que 1 s, además de los efectos estáticos deberán tomarse en cuenta los efectos dinámicos, conforme al apartado 4.4 del MOCV (2008).

$$F_e = p_n A = p_n h d$$

Tabla 5. Coeficiente de arrastre, C_a , para formas redondas

Forma de la sección y dirección del viento	Coeficiente de arrastre (C_a)	
	$b V_D < 4 \text{ m}^2/\text{s}$	$B V_D > 10 \text{ m}^2/\text{s}$
 Cilíndrica	1.2	Véase punto 4
 Elipse horizontal $\frac{b}{d} = \frac{1}{2}$	0.7	0.3
 Elipse vertical $\frac{b}{d} = 2$	1.7	1.5
 Cuadrada con esquinas redondas $\frac{b}{d} = 1$ $\frac{r}{b} = \frac{1}{3}$	1.2	0.6
 Cuadrada con una cara perpendicular al viento	-----	2.2
 Cuadrada con un vértice hacia el viento	-----	1.5
 Triángulo equilátero con un vértice hacia el viento	-----	1.2
 Triángulo quilátero con una lado hacia el viento	-----	2.0
 Triángulo rectángulo	-----	1.55
 Polígono de doce lados	-----	1.3
 Hexágono	-----	1.4
 Octógono	-----	1.4

1. b es el diámetro o ancho promedio de estructura, en m.
2. V_D es la velocidad del viento de diseño valuada a la altura total y en m/s.
3. Para valores intermedios de $b V_D$ es posible emplear interpolación lineal.
4. Para secciones transversales circulares suaves o poligonales con más de 16 lados, en donde $b V_D > 10 \text{ m}^2/\text{s}$, el coeficiente de arrastre se seleccionará de la siguiente manera:

$$C_a = 0.6 \quad \text{para } h_r/b \leq 0.0002$$

$$C_a = 1.6 + 0.105 \ln(h_r/b) \quad \text{para } h_r/b > 0.0002$$

En donde:

h_r es la altura promedio de la rugosidad de la superficie, y b en este caso, el diámetro exterior.

5. Algunos valores característicos de h_r en mm se presentan a continuación:

Vidrio, plástico: 0.0015

Acero: galvanizado 0.15; ligero 2.5; pesado 1.5

Concreto, nuevo y liso 0.06, nuevo y rugoso 1.0

Metal pintado: 0.003 a 0.03

Nota: Elaboración propia información tomada de MOCV, (2008).

Tabla 6. Factor de corrección por relación de esbeltez

Relación L_e/b	Factor de corrección K_{re}
8	0.7
14	0.8
30	0.9
40 o mayor	1.0

Nota: Para valores intermedios de L_e/b , puede interpolarse linealmente. Elaboración propia información tomada de MOCV, (2008).

2.4.2 Cálculo de la fuerza estática de arrastre F_e

La acción del viento sobre la chimenea se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$H = \sum_{i=1}^n H_i = \sum_{i=1}^n w' h_i d_i = F_e = \sum_{i=1}^n F_{ei} = \sum_{i=1}^n p_n h_i d_i$$

Donde

$F_e = H =$ Acción del viento sobre el total de la chimenea

$H_i =$ Acción del viento sobre cada tramo de la chimenea

$w' =$ presión dinámica del viento

$h_i =$ altura del tramo de la chimenea

$d_i =$ diámetro exterior de la base la chimenea

$d =$ diámetro exterior de la base del tubo de chimenea

$h' =$ altura total del tubo de chimenea

A continuación se dará una breve explicación del procedimiento para el cálculo de líneas de presiones de una estructura esbelta que está sometida a los efectos de su peso propio y del viento. De acuerdo con Díaz Gómez y Gumá Esteve (1999), para hacer la revisión de la estabilidad de una chimenea industrial con este método es necesario conocer los siguientes datos como base:

Tabla 7. Datos básicos para la revisión de la estabilidad de chimeneas de ladrillo

Concepto	Símbolo
Presión del viento	$w = 14 \text{ kg/m}^2$ ($v = 54 \text{ km/h}$)
Factor de forma (superficie poco rugosa)	$c = 0.7$
Factor de esbeltez	$h'/d = 34/3.1 = 10.97$ $k = 1.25$
Presión dinámica del viento	$w' = (w)(c)(k) = 12.30 \text{ kg/m}^2$
Altura de los tramos en que se divide el tubo	$h = 6.80 \text{ m}$
Peso de la mampostería de ladrillo	$q = 1800 \text{ kg/m}^2$

Nota: Elaboración propia en base al trabajo de Díaz & Gumá, (1999).

El peso propio de una chimenea circular y el radio del núcleo central de la sección de la base del tubo se pueden calcular con las fórmulas siguientes:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n (Re_i^2 - Ri_i^2)\pi h_i q$$

$$a_i = \frac{(Re_i^2 + Ri_i^2)}{4} Re_i$$

Donde

n = número total de tramos en los que se divide la chimenea

i = número de tramo

P = Peso total de la chimenea

P_i = Peso de cada tramo de la chimenea

Re_i = radio exterior de cada tramo

Ri_i = radio interior de cada tramo

h_i = altura de cada tramo

q = peso de la mampostería (Kg/m^2)

2.4.3 Cálculo de resultantes con estática gráfica

Las fuerzas que actúan sobre una estructura pueden representarse mediante vectores que pueden expresarse gráficamente con una escala adecuada. La resultante de un conjunto de fuerzas, como las generadas por el peso de varias secciones de una chimenea o las fuerzas generadas por la acción del viento, se puede representar por una sola fuerza que tiene el mismo efecto de todas las fuerzas que actúan sobre una construcción dada; es decir, la resultante es una fuerza única y equivalente.

Los vectores tienen cuatro características: punto de aplicación, dirección, sentido y magnitud; se clasifican en equivalentes (misma magnitud, dirección y sentido), opuestos (misma magnitud dirección, pero diferente sentido), unitarios (magnitud igual a una unidad) y concurrentes (vectores con el mismo origen); coplanares (contenidos en el mismo plano) y no coplanares (cuando se encuentran en planos diferentes). El peso de una chimenea y la acción del viento sobre ella pueden considerarse como un sistema de fuerzas paralelas que actúan en los centroides de cada sección que la conforma (figura 8). La dirección y la magnitud de la resultante de ambas acciones pueden obtenerse con el método del paralelogramo y con la suma gráfica de fuerzas paralelas. El uso de la estática gráfica permite visualizar el efecto de combinado del peso propio y la acción del viento de estructuras esbeltas, como las chimeneas industriales. La resultante de ambas acciones puede analizarse si queda dentro del núcleo central de cada sección, o fuera de éste, encontrándose fuerzas de tensión importantes.

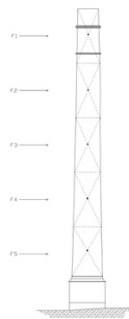


Figura 8. Acción del viento sobre la chimenea industrial

a) Resultante de fuerzas paralelas

La línea de acción de la resultante de varias fuerzas paralelas puede encontrarse gráficamente con ayuda de un polígono funicular como el mostrado en la figura 10. De acuerdo con Wolfe (1921: 20), en la figura 9 hay dos fuerzas paralelas que tienen el mismo sentido, la misma línea de acción y la misma magnitud de la resultante deseada. Se dibuja cualquier línea recta $c-b$ conectando las líneas de acción de F_1 y F_2 . La longitud $a-b$ es igual a F_1 en una escala conveniente, y $c-d$ es igual a F_2 en la misma escala. La línea recta $a-d$ es ahora dibujada y se localiza la intersección, "o". Esta intersección es un punto en la línea de acción de la resultante, la cual es ahora dibujada a través de "o", paralela a F_1 y F_2 .

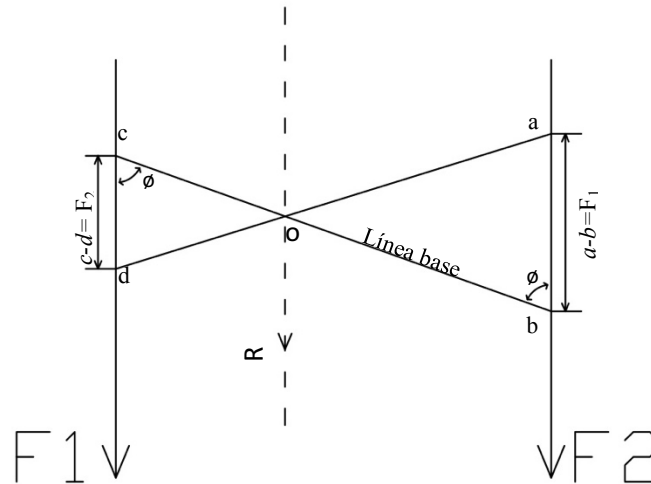


Figura 9. Suma de fuerzas paralelas. Elaboración propia en base al trabajo de Wolfe, (1921).

Si queremos encontrar la resultante de más de dos fuerzas paralelas, es conveniente aplicar el procedimiento anterior para dos fuerzas y su resultante sumarla a una siguiente fuerza, hasta que se reduzca el sistema a una sola fuerza. Pero si hay más fuerzas es recomendable hacer un polígono funicular. En la figura 10 hay 7 fuerzas paralelas de las en donde se desea conocer la fuerza

resultante. El polígono de fuerza de la figura 10.A), inicia en el punto 1 con el vector F1. El sentido de F4 es hacia arriba, de manera que el vector va hacia el punto 4. La distancia desde el punto 1 hasta el final del vector, punto 8, medido a escala, da la magnitud de la resultante. Cualquier punto “p” es ahora elegido como un polo, y el polígono funicular se dibuja en la figura 10.B), de manera que la intersección entre 1p y 8p, localiza un punto en la línea de acción de la resultante.

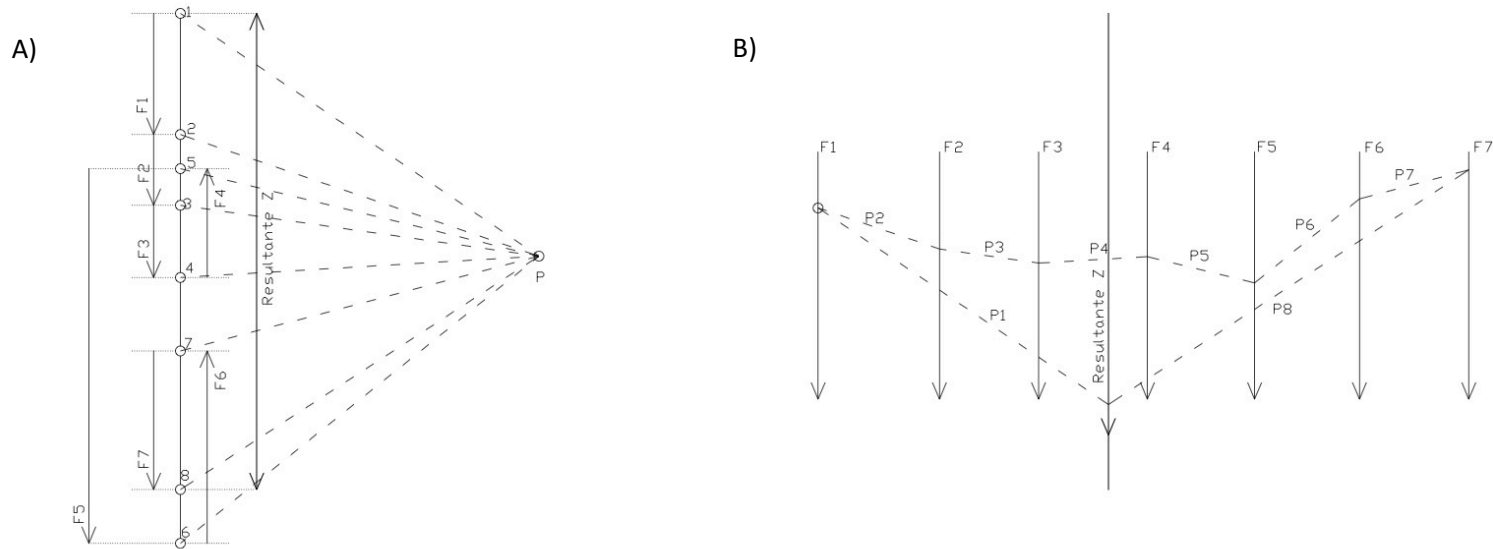


Figura10. A) Polígono de suma de fuerzas B) Polígono funicular. Elaboración propia en base al trabajo de Wolfe, (1921).

Este procedimiento puede utilizarse para encontrar la resultante de la fuerza del viento en una chimenea, si consideramos que está dividida en un número determinado de secciones transversales, en las que actúan fuerzas paralelas aplicadas en el centroide de cada tramo (ver figura 8).

2.5 Daños y deterioros en chacuacos de mampostería.

El objetivo en este apartado es mostrar las patologías más comunes que presentan las chimeneas industriales, señalando el deterioro y daños que pueden presentar a causa de su abandono.

Partiendo de que el deterioro de los chacuacos está directamente relacionado con las características climáticas y geográficas en las que se encuentra cada caso de estudio, así como su periodo de vida y la calidad en su ejecución; se definen dos variables cualitativas que dan origen a los agentes de deterioro: factores intrínsecos y extrínsecos:

a) Factores extrínsecos: aquellos que no se originan por las características propias del material. Su origen radica principalmente en los agentes ambientales y la participación de la mano del hombre, la cual es notable tanto directa como indirectamente.

b) Factores intrínsecos: Estas causas o factores de deterioro radican en el propio material. Contiene causas relacionadas con el tipo, tratamiento y/o uso de los materiales. Son factores internos, aunque debe observarse también que algunos dependen de la intervención de la mano del hombre.

Pasando a una segunda catalogación, se da una acción conjugada de los efectos que tiene estos factores de deterioro a lo que se denomina agentes los cuales pueden ser químico, físico, biológico o mecánico. Entre las lesiones físicas que puede padecer la mampostería de ladrillo se encuentra la humedad, y ésta se puede dar de muchas maneras: por capilaridad, por filtración y por condensación, causando lesiones químicas como la presencia eflorescencias. Este agente químico puede causar lesiones físicas como la degradación de la materia y alteración en la composición química de los morteros y ladrillos, así como también favorece a la invasión de partículas orgánicas. La mayoría de los agentes de deterioro está relacionada con la intemperie, como el viento que puede causar erosiones mecánicas y erosiones químicas en el material (Rojas Echeverri & Joaquín Emilio, 2005).

Entre los daños más comunes en las chimeneas estudiadas por Ivorra (2014) están las grietas, fisuras y el desprendimiento del material de recubrimiento. Las primeras generalmente se producen en dirección vertical, aproximadamente a un tercio de la altura del fuste; también es común que se generen pequeñas grietas en la corona de la chimenea siguiendo la dirección de las juntas de mortero sobre todo cuando las juntas son mayores en la parte superior. En el caso de las grietas o fisuras en la base, su frecuencia suele ser menor, aunque también se presentan algunas en dirección vertical, pero por lo general se concentran en la boca de la cámara interior. En general, los agentes de deterioro provocan lesiones que, con el paso del tiempo, se acumulan y comprometen la estabilidad estructural de la chimenea.

Capítulo 3

Historia fabril y chacuacos de las haciendas de Cuahixtla, Atlihuayan, Chinameca y El Hospital

En este capítulo se presenta cada caso de estudio, En primera instancia se muestra ubicación geográfica con apoyo de mapas e imágenes satelitales. Posteriormente se hace un breve resumen de la historia de los procesos de modernización propios de la industria azucarera, tomando en cuenta la fecha de su fundación y registrando los periodos de expansión territorial. De esta manera se relaciona la función de los espacios de producción; incluyendo los terrenos destinados a la siembra de caña, el propio ingenio y la tecnología utilizada con la producción generada en sus diferentes etapas de modernización.

De igual manera se presentan las características de cada chacuaco; su geometría, el sistema constructivo y los deterioros que presenta. Para efectos de esta investigación es relevante la realización de las plantas arquitectónicas, las cuatro fachadas, y un corte mostrando la sección de su geometría y el espesor del muro a lo largo del tiro del fuste. En los planos de cada caso de estudio se registra y representa los daños que actualmente tiene el chacuaco, incorporando de esta manera el estado actual en el que se encuentran estas grandes estructuras de mampostería. Con la información obtenida de los levantamientos se realizará la bajada de cargas y un cálculo práctico de estabilidad para cada caso de estudio.

Finalmente se presentan las patologías que se encuentran en cada chacuaco, incluyendo los factores y los agentes de deterioro, por lo que se consideró pertinente incluir al final las características generales de la zona oriente de Morelos que afectan el comportamiento estructural de los chacuacos. Esta información se concentra en una matriz de interacción la cual muestra simultáneamente la estructura de cada elemento constructivo, los daños que se observan en ella y los factores que los causan.

3.1. Ex Hacienda El Hospital, Nuestra Señora De La Concepción (Cautla)

3.1.1. Ubicación, historia fabril y arquitectura

Este conjunto arquitectónico entra dentro de la catalogación de monumento arquitectónico debido a su gran valor histórico. Se localiza en las afueras de la ciudad de Cautla, a unos 6 km al poniente, dentro de lo que hoy se conoce como el estado de Morelos.



Figura 11. Mapa de ubicación de Cautla



Figura 9. Localización Hacienda El Hospital. Imagen satelital obtenida por Google Maps (2014).

Esta hacienda se funda a finales del siglo XVI bajo la supervisión del quinto virrey de la nueva España, Lorenzo Suárez de Mendoza. Quien funda este conjunto es Bernardino Alvares, quien es castigado y exiliado, pero a su regreso se dedica al altruismo fundando hospitales, entre ellos la Hacienda El hospital en 1569. Para su construcción se le es otorgada una merced de dos caballerías de tierra. Posteriormente para 1582 le es concedido tres sitios de estancia para ganado menor de aproximadamente 2,340.8 hectáreas y otras cinco caballerizas de 214 hectáreas. En el año de 1599 ya funcionaba un trapiche de tracción animal, en donde las tierras también fueron destinadas a la siembra de trigo. La hacienda extiende su territorio nuevamente para el año de 1607 mediante una merced otorgada por el virrey don Luis de Velasco. Ya para el año de 1625 se había incorporado al ingenio una rueda hidráulica, sin embargo, la rueda hidráulica no sustituyo la tracción animal en todos los casos, en algunos casos era más económico la tracción animal, dado que la cantidad de guaro extraídos en ambos casos es casi la misma (Toussaint, 1996).

Para el año de 1851 está catalogada como un ingenio de tercera clase de entre siete, de acuerdo con el volumen de su producción (Scharrer, 1987). Se registra que en el año de 1870 ya tenía una producción de 41,000 arrobas de azúcar, lo que

representa 471.5 toneladas de azúcar y 46,000 arrobas de miel. Debido a la gran producción que generaba es que por estos años empieza su modernización y continúa expandiéndose en territorio. En manos del empresario don Vicente Alonso Simón, quien escribe un artículo sobre el cultivo de la caña, mejora la producción de la industria, realizando importantes obras hidráulicas mejorando la producción agrícola. Con todos los procesos de modernización la hacienda alcanza su mejor zafra para el año de 1908-1909, obteniendo una producción de 2,500 toneladas de azúcar y aproximadamente 1,000 toneladas de miel (Toussaint, 1996).

Ha pasado por varios dueños a través de su historia, los habitantes de esta localidad comentan que, en los años 50 del siglo XX, funcionó como fábrica de pintura a manos de uso empresarios alemanes. Actualmente la hacienda es propiedad del pueblo, en ella se organizan visitas guiadas para turistas, se rentan los jardines para eventos y campamentos, y por las noches hacen recorridos nocturnos contando leyendas del pueblo. El programa arquitectónico en este caso de estudio está constituido por: acueducto, cárcamo, trapiche viejo, capilla, purgares, huerta, casas y nuevas construcciones.

3.1.2. Geometría y características constructivas del chacuaco El Hospital.

En esta hacienda el chacuaco se encuentra localizado a un costado de la barda perimetral al sur de la hacienda, a uno cuantos metros de lo que era el trapiche viejo. Esta chimenea Industrial está construida a base de mampostería de ladrillo, la relación de esbeltez es de 1/14 y alcanza una altura de 35.41 m actualmente, su geometría es de sección circular. Se comenta que aproximadamente 10 m del chacuaco fueron retirados por miedo a un derrumbe, y aunque esta información no se encuentra documentada, es notorio que le hace falta la corona y una parte del fuste, ya que a lo largo del fuste se encuentra el nombre de Concepción (uno de los nombres de la hacienda), faltando las primeras de las leras “C” y “O”.

Su base es cuadrada y al Igual que toda la chimenea está construida a base de mampostería de ladrillo. Tiene una altura de 3.90 m del nivel de piso, sin embargo, para conectar el cenicero a la cámara interior, parte de la base es enterrada a una profundidad de 1.85 m de profundidad. El acceso al interior del chacuaco es mediante un arco de medio punto, contando con un

espacio de 2.20 m de diámetro en la base y 2.00 m de diámetro en la parte superior del fuste. Por otro lado, en la parte exterior de la chimenea, el fuste arranca con un diámetro de 5.25 m y termina con un diámetro de 3.20 m.

La sección del chacuaco se reduce proporcionalmente conforme aumenta su altura. En la parte inferior tiene un grosor de 1.10 m, mientras que, en la parte superior cuenta con un grosor de 60 cm, resultando una pendiente de 0.14% a lo largo del tiro del fuste. Este caso de estudio tiene un desplome de 5 cm en dirección a los vientos dominantes de la región.

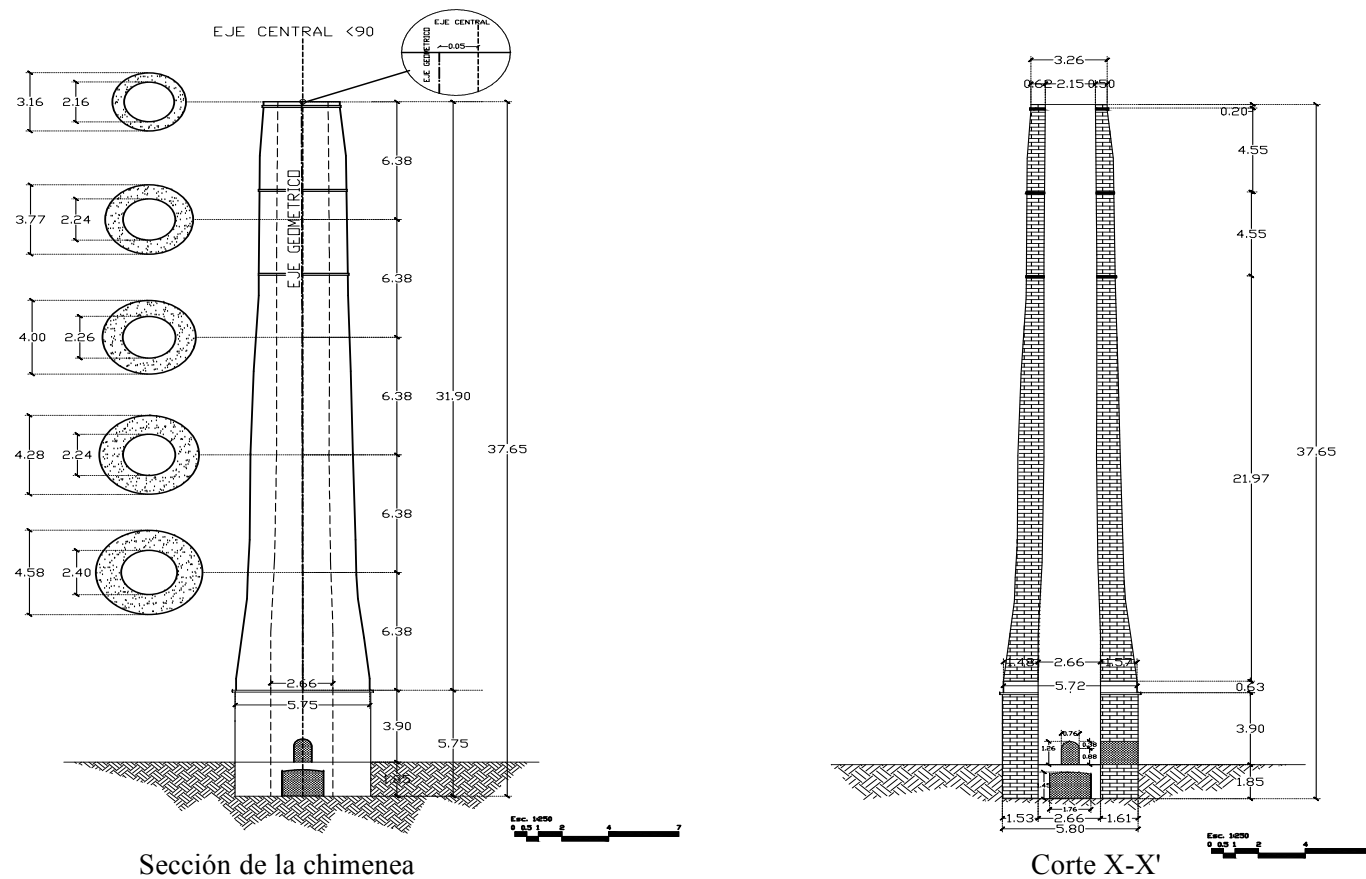


Figura13. Sección y corte del chacuaco El Hospital.

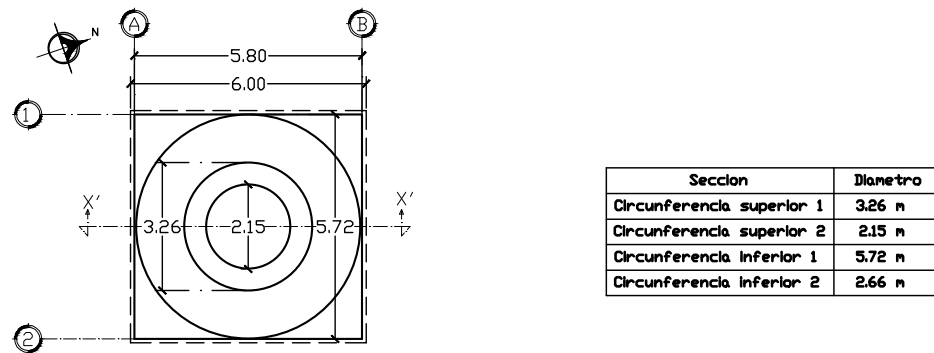


Figura 14. Planta arquitectónica y secciones por tramo del chacuaco El Hospital

Tabla 8. Peso de chimenea industrial El hospital

Sección de chimenea	Material	Peso kg
Fuste	Mampostería de ladrillo	381,488.00
Base	Mampostería de ladrillo	175,552.00
Base empotrada en suelo	Mampostería de ladrillo	79,968.00
	Σ	637,008.00

3.1.3 Daños y agentes de deterioro chacuaco El Hospital

Cuadro fisurativo

Apoyos: el chacuaco presenta fisuras en circunferencia superior de la torre y en la punta, tanto trasversales como horizontales, posiblemente ocasionadas por el movimiento oscilatorio del propio chacuaco, comportamiento frecuenté en elementos de gran altura y esbeltez, generalmente provocado por los vientos. Una grieta considerable se localizó en la fachada 2-1 en el eje B, con

una longitud aproximada de 10 m en un sentido vertical, partiendo de la punta del chacuaco y bajando a lo largo del tiro del mismo (ver figura 12).

Desplomes: El chacuaco presenta un desplome de 5 cm en su fuste, correspondiendo con la dirección de los vientos dominantes, de noreste hacia el suroeste.

Tabla 9. Matriz de interacción de daños y deterioros chacuaco El Hospital

Componente Estructural	Fabrica o Procedimiento Constructivo	Materiales Utilizados	Deterioros		
			Tipos	Factores	Agentes
Suelo	Zona II transición	Rocas ígneas y materiales sedimentarios	Disgregación del tabique y soquedades (abrasión)	Extrínseco-erosión eólica	Físico
Cimentación	Plataforma de mampostería maciza	Tabique cocido con morteros cal-arena	Desprendimiento del tabique	Extrínseco-presencia de humedad	Físico-Químico
			Fauna nociva-vegetación y musgo	Extrínseco-abandono/falta de mantenimiento	Físico-Químico
Apoyos	Muros de mampostería/geometría cilíndrica	Tabique cocido con morteros cal-arena	Agrietamiento en muros	Demolición de una parte de la chimenea	Histórico- Social

Nota: en base al las clases del Arq. Rocha Martínez, 2014.



Figura 15. Daños y deterioros del chacuaco El Hospital

Agentes de deterioro presentes en los casos de estudio

Físicos: la erosión eólica y la presencia de humedad han generado degradación del material y presencia de flora parasitaria, sobre todo en la base de la chimenea.

Químicos: la humedad presente en este monumento que está expuesto a la intemperie alterará las propiedades químicas de los materiales ocasionando la degradación de tabique y presencia de eflorescencia de sales; la presencia de sales proviene de la composición química de las arcillas utilizadas para la elaboración de los ladrillos, de la cal utilizada en los morteros y del agua de lluvia junto con los minerales del subsuelo, ya que se presenta humedad por capilaridad ascendente.

Biológicos: la presencia de flora parasitaria a causa de la humedad presente en el elemento, como también la presencia de murciélagos dentro del chacuaco.

Social-histórico: demolición de la parte superior del chacuaco (aproximadamente 8 a 10 m) por riesgo a derrumbe y falta de mantenimiento.

3.2. Hacienda Chinameca.

3.2.2. Ubicación, historia fabril y arquitectura

Está localizada en el poblado de Chinameca, perteneciente al municipio de Ciudad de Ayala. Para llegar a este poblado se tiene que tomar la carretera al sur de Cuautla, dando vuelta hacia el oriente en el entronque con la carretera Cuernavaca-Cuautla/ México 138/México 160 y Temilpa- Tepalcingo, a una hora y media de la ciudad de Cuernavaca.



Figura 16. Ubicación de Ciudad de Ayala.



Figura 17. Localización Hacienda de Chinameca. Imagen satelital obtenida por Google Maps (2014).

Esta hacienda fue la última en edificar antes de la revolución dentro de lo que hoy se conoce como el estado de Morelos. Por referencias orales de los habitantes del poblado, se sabe que para el año de 1700 se operaba un pequeño trapiche de tracción animal. En el año de 1896 los dueños de esta hacienda comienzan a comprar tierras a don Vicente Alonso Simón, dueño de cuatro haciendas de las más importantes de este estado: Calderón, El Hospital, San Nicolás Obispo y Zacatepec. En 1899 es considerada la más extensa en propiedad de terreno, con alrededor de 35,000 hectáreas anexándose a la Estancia de Pala. Para este mismo año se construye el canal y un puente-canal que llevaría agua a esas tierras. En un inicio se dedicaría a ser una estancia ganadera, pero también se cultivó arroz y caña al ver que genera buenas utilidades. Ya para el año de 1906 se construye el ingenio azucarero de Chinameca, en donde se introdujo las más avanzadas tecnología en la industria azucarera. Posteriormente vuelve a extender su territorio anexándose a San José de Pala, alcanzando una superficie de 60,000 hectáreas (López Valentín, 1990). En la zafra registrada de 1907-1908 alcanza una producción de 1,030 toneladas de azúcar y 41 toneladas de miel (Toussaint, 1996).

La hacienda cuenta con una historia corta, sin embargo, tiene un gran valor histórico ya que en ella trabajó el personaje revolucionario Emiliano Zapata. En esta hacienda se llevaron a cabo luchas armadas por litigio de tierras y es en esta hacienda donde es asesinado este personaje. Actualmente la construcción es ocupada como Museo del Agrarismo, bajo la administración de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

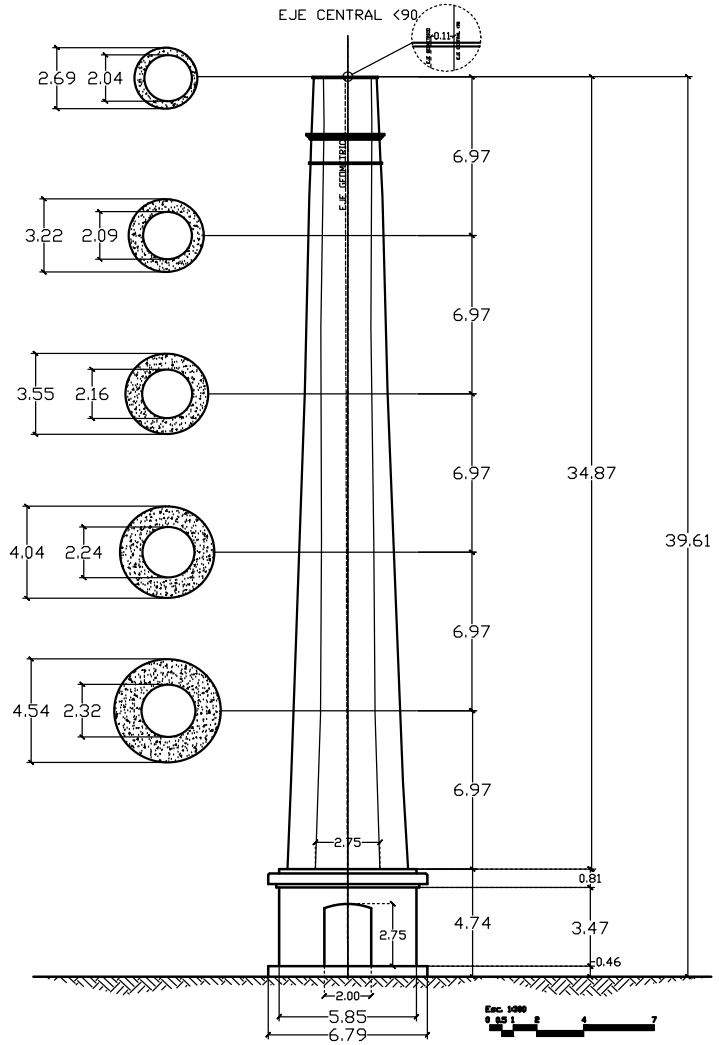
Actualmente lo que se conserva en mejor estado es la casa grande, aunque también hay otro edificio de tres niveles donde pudieron estar las estufas o la fábrica de aguardiente. Entre los cambios que le han hecho se colocó una escultura de Zapata montado en su caballo “As de Oro” (Toussaint, 1996). Gran parte de la barda perimetral fue demolida debido a las nuevas construcciones. Dentro del terreno se encuentran juegos infantiles, una cancha de fútbol y una de baloncesto, un cuadrilátero y una alberca en donde se piensa que estuvo el ingenio.

3.2.2. Geometría y características constructivas del chacuaco Chinameca.

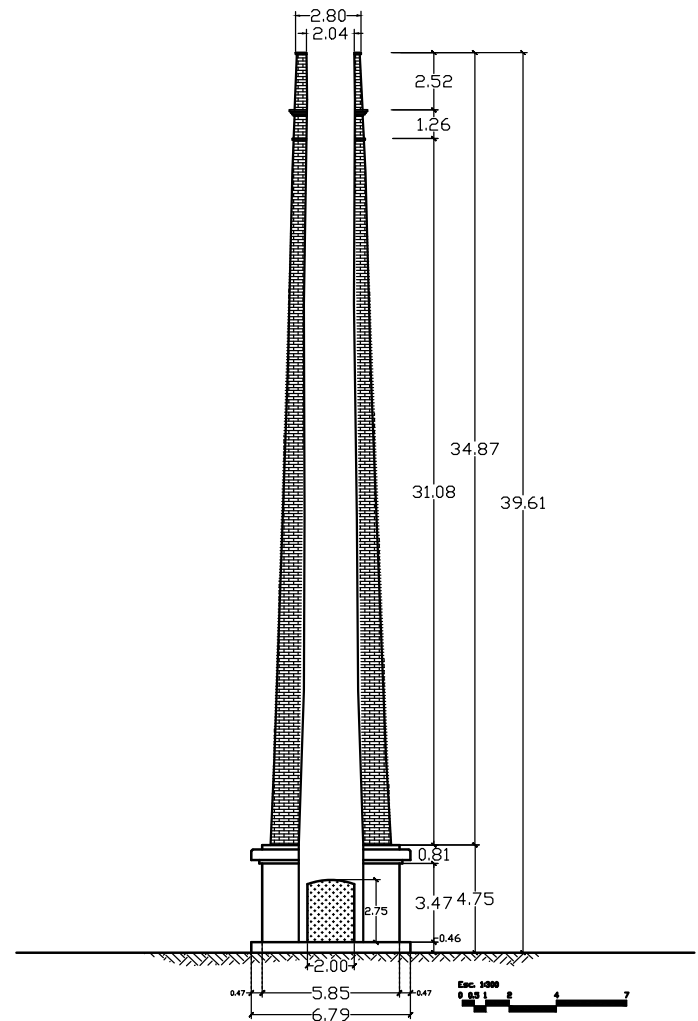
El chacuaco se encuentra localizado al norte de la casa grande, enfrente de él se logra ver los ductos que formaron la cámara interior y que conectaban con la casa de calderas. El sistema constructivo con el que se edificó es de mampostería de ladrillo. Tiene una sección circular en el fuste y se desplanta de una base cuadrada, la cual muestra a simple vista intervenciones de mantenimiento, además de tener una losa de cemento sobre su cenicero. Tiene una relación de esbeltez 7.8, alcanzando una altura de 39.61 m desde su base hasta la corona del fuste. A simple vista se logra ver en la fachada norte la falta de material en una sección alta del fuste, esto debido a un cañonazo que recibió durante los enfrentamientos armados, según comentarios de lugareños.

Las dimensiones de la base son: 4.74 m de altura y 5.85 m de longitud, construido con un aparejo a tizón tanto en los muros como en la cornisa. Tiene dos accesos alineados, en ambos el claro es formado mediante el arco rebajado. El espacio interior del chacuaco en la base es de 2.75 m y en la parte superior del chacuaco de 2.00 m. El fuste, por el exterior, se desplanta con una dimensión de 5.15 m, terminando con una medida de 2.80 m. El aparejo que se observa a lo largo del fuste es a soga. En la corona se presenta un remate sencillo, con una cornisa de cuatro movimientos a 2.46 m de la punta.

Los muros tienen un espeso de 1.20 m en la parte inferior, mientras que en la parte superior se reduce a 47 cm. La reducción proporcional de los muros tiene una pendiente de 0.27 %. El eje geométrico de este caso de estudio tiene un desplome de 11 cm.



Sección del chacuaco



Corte X-X'

Figura 18. Sección y corte del chacuaco Chinameca

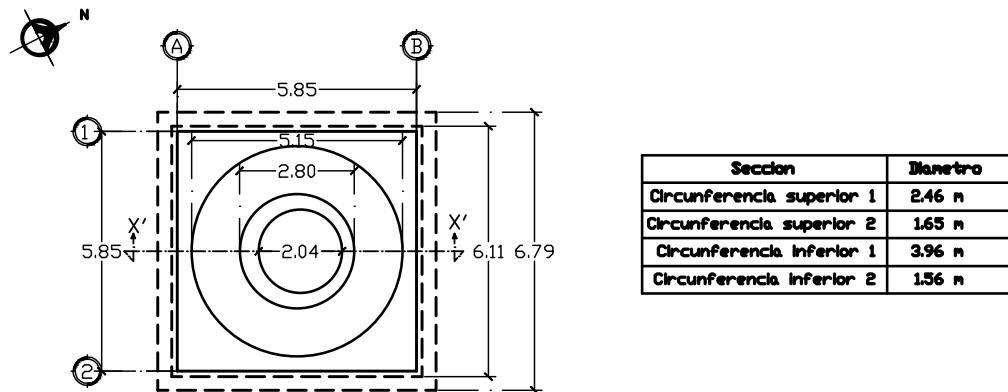


Figura 19. Plata arquitectónica y secciones por tramo del chacuaco Chinameca

Tabla 10. Peso de chimenea industrial Chinameca

Sección de chimenea	Material	Peso kg
Fuste	Mampostería de ladrillo	406,720.00
Base	Mampostería de ladrillo	188,368.00
Base empotrada en suelo	Mampostería de ladrillo	000.00
	Σ	595,088.00

3.1.3 Daños y agentes de deterioro del chacuaco Chinameca

Cuadro fisurativo

Apoyos: el chacuaco presenta fisuras en circunferencia superior de la torre y en la punta se presencia falta de material, las fisuras tienen dirección transversal y horizontales, posiblemente ocasionadas por la fuerza del viento. Presenta un hueco con falta total de

material aproximadamente a dos tercios del fuste. La mayoría de las grietas ya presenta intervención de conservación, por lo general la técnica utilizada en estos casos es por medio de inyección de morteros.

Desplomes: El chacuaco presenta un desplome de 11 cm en su fuste, correspondiendo con la dirección de los vientos dominantes, hacia el suroeste.

Tabla 11. Matriz de interacción daños y deterioros chacuaco Chinameca

Componente Estructural	Fabrica o Procedimiento Constructivo	Materiales Utilizados	Deterioros		
			Tipos	Factores	Agentes
Suelo	Zona II transición	Rocas ígneas y materiales sedimentarios	Disgregación del tabique y soquedades (abrasión)	Extrínseco-erosión eólica	Físico
				Extrínseco-presencia de humedad	Físico-químico
Cimentación	Plataforma de mampostería maciza	Tabique cocido con morteros cal-arena	Fauna nociva-vegetación	Extrínseco-abandono/falta de mantenimiento	Físico-químico
				Posible impacto de bala de cañon	Histórico- social
Apoys	Muros de mampostería/ geometría cilíndrica	Tabique cocido con morteros cal-arena	Agrietamiento en muros y falta de material		

Nota: en base al las clases del Arq. Rocha Martínez (2014).



Figura 20. Daños y deterioros del chacuaco Chinameca

Agentes de deterioro presentes en los casos de estudio

Físicos: la erosión eólica y la presencia de humedad ha generado degradación del material y presencia de flora parasitaria en la cornisa de la base. A lo largo del fuste se presentan grietas posiblemente por el movimiento que ocasiona la acción del viento sobre la estructura.

Químico: este monumento presenta un bajo nivel de humedad, solo en el desplante se presencia moho y algas, microorganismo que alteran la composición química de los materiales.

Biológicos: moho y algas en el desplante de la base.

Social-histórico: posible impacto de bala de cañón aproximadamente a dos tercios de altura.

3.3. Hacienda Atlihuayan

3.3.1. Ubicación, historia fabril y arquitectura

La construcción se encuentra localizada al sur del municipio de Yautepec, se puede llegar tomando la carretera a Ticumán y las Estacas. Esta hacienda tiene sus inicios mediante una merced de cuatro caballerías de aproximadamente 171.18 hectáreas otorgadas por don Pedro Cortés, cuarto marqués del Valle de Oaxaca, en el año de 1560 (Sandoval. Fernando, 1951). Durante el siglo XVII hubo una etapa de expansión territorial de las haciendas, de la cual Atlihuayan formo parte. Estas tierras estaban destinadas para pastizales, sembradíos de cereal y calla de azúcar. Posteriormente, se apropia de dos caballerías que le quitaría al poblado de Yautepec y para 1665 se hace de un reparto de aguas del rio de Yautepec, obteniendo una dotación de 32 surcos de agua.



Figura 21. Ubicación de Yautepec.

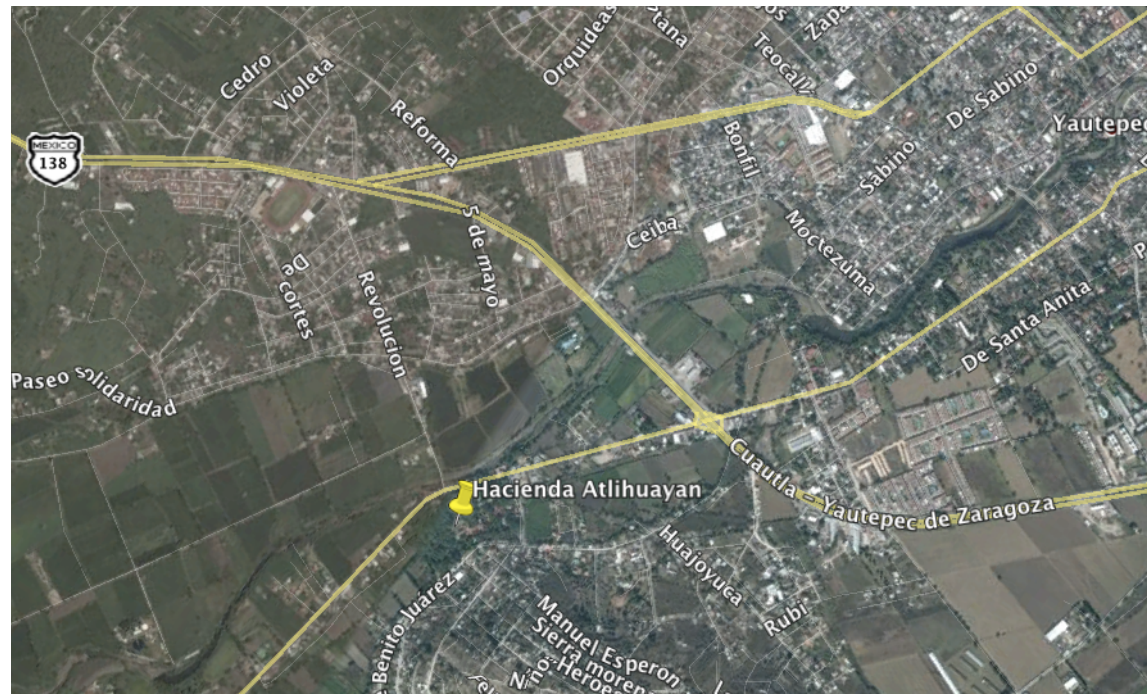


Figura 22. Localización de la Hacienda Atlhuayan. Imagen satelital obtenida por Google Maps (2014).

Por otro lado, los hacendados frecuentemente se endeudaban durante los proceso de expansión y de modernización de la industria, esta hacienda se ve en bancarrota en varias ocasiones debido al crecimiento de la industria y la vida opulenta de los dueños (Toussaint, 1996), Para el año de 1743 la hacienda cambia de dueño por endeudamiento, sin embarco para esta época, se consideraba a este conjunto arquitectónico como parte de los grandes ingenios de la regio, ya que su maquinaria funcionaba por medio de la rueda hidráulica (von Mentz, 1988).

Durante el periodo revolucionario pasa a ser propiedad de los hermanos Leandro y Miguel Mosso, poderosos comerciantes en el negocio azucarero. Para el año de 1877 el ingenio producía 44,000 arrobas de azúcar y 75,000 arrobas de miel. Para finales del siglo, el nuevo dueño moderniza la industria introduciendo la máquina de vapor, y anexando las fincas de El Caracol, Campo Grande, la hacienda de Apanquetzalco y la hacienda de Xochimacas. Después de este crecimiento tanto industrial como territorial,

la hacienda llega a producir 3,200 toneladas de azúcar y 900 toneladas de miel. Aumentando su producción seis veces más de lo que generaba antes de la modernización.

Después del movimiento revolucionario se repartieron las tierras de esta y varias haciendas del estado de Morelos, quedando solo con un poco más de siete hectáreas. Durante los siguientes años esta propiedad estuvo arrendada para la cría de ranas y como lugar de cultivo de orquídeas. Actualmente es propiedad de varios accionistas, los cuales se repartieron y habilitaron algunas de las ruinas de esta hacienda, pero también construyendo nuevas casas en los terrenos libres (Toussaint, 1996).

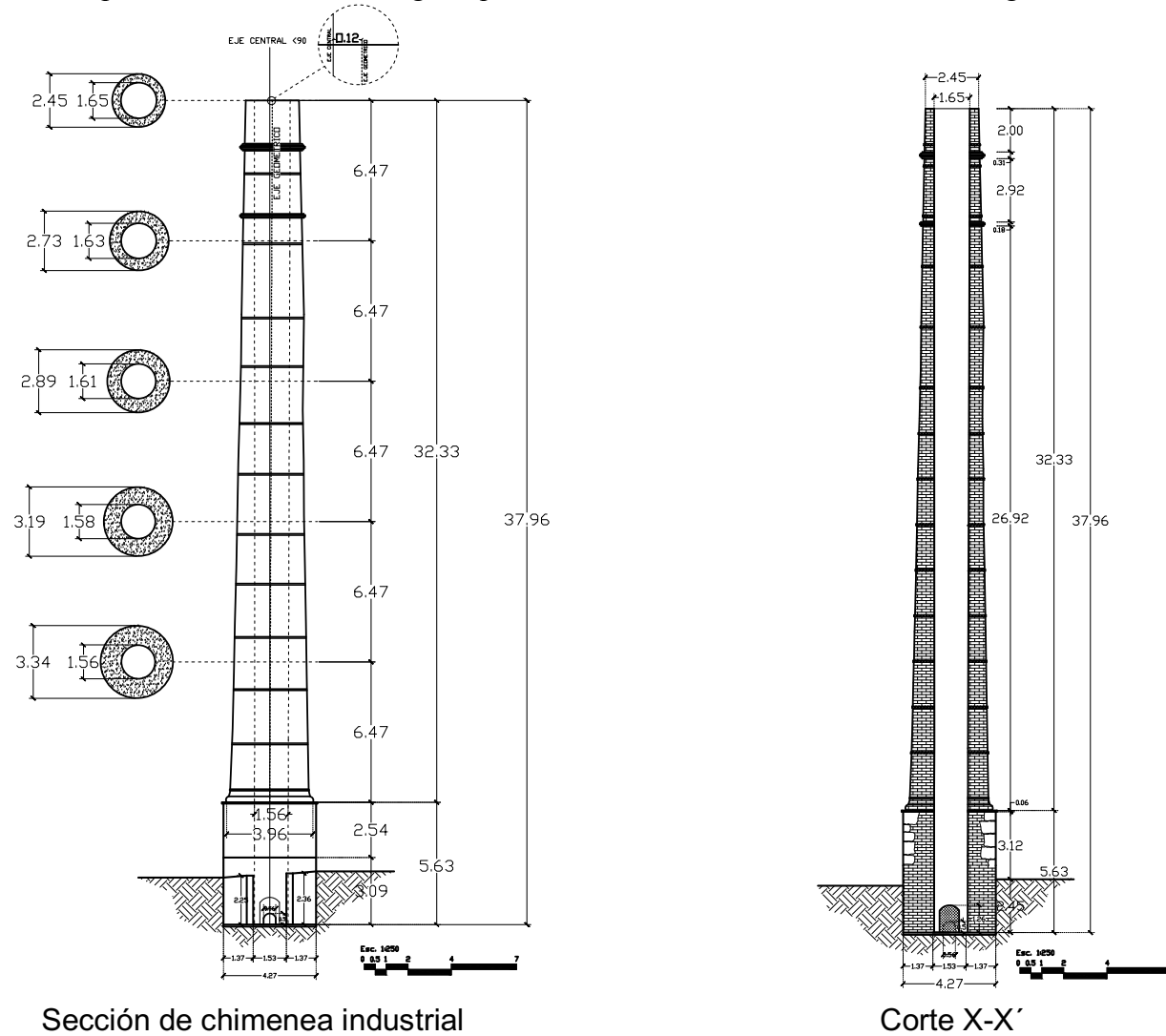
El programa arquitectónico de esta hacienda está formado por: el acueducto, cárcamo, primer trapiche, hornallas, ingenio, ingenio a vapor, chacuaco, purgares, casa y la capilla. Se conserva en buen estado la barda perimetral, algunos salones, la capilla y algunas partes de la casa.

3.3.2. Geometría y características constructivas del chacuaco Atlahuayan.

El chacuaco se localiza al sur del ingenio de vapor, y a este le sigue el ingenio viejo. Su geometría es de sección circular y de base cuadrada. Esta construido a base de mampostería de ladrillo y alcanza una altura de casi 35.51 m este caso de estudio es el que presenta mayor labor de mantenimiento, ya que lo largo del fuste de la chimenea se logran apreciar una serie de cinchos de hierro como refuerzos estructura.

Esta chimenea alcanza una altura de 38 m y está construida a base de mampostería organizada de ladrillo. Tiene una relación de esbeltez de $1/8$ y a lo largo de su tiro presenta una pendiente de 3.7 %. La base es de forma cuadrada, tiene 4.27 m a lo largo de la base y 2.54 m de altura, sin embargo, se encuentra 3.09 m por debajo del nivel de piso, conectando así el cenicero del chacuaco con la cámara interna. El acceso se encuentra por debajo nivel de piso, y se baja por medio de una escalera tipo marinera, y el acceso tan solo tiene 50 cm de altura y 56 cm de ancho, formado por un arco levemente rebajado. El ducto de la chimenea en la base tiene un diámetro de 1.53 m, mientras que en la parte más alta aumenta a 1.65 m de diámetro. En el exterior, el fuste se desplanta con una dimensión de 3.96 m de diámetro y 2.45 m en la parte superior. Los muros inician con un espesor de 1.27 m reduciéndose hasta llegar a un grosor de 2.45 m.

En general presenta un aparejo soga, sin embargo, en las esquinas se observa la utilización de la piedra basalto, muestra de las intervenciones hechas para su conservación, al igual que la sucesión de cinchos de hierro a lo largo del fuste del chacuaco.



Sección de chimenea industrial
Figura 23. Sección y corte del Chacuaco Atlihuayan

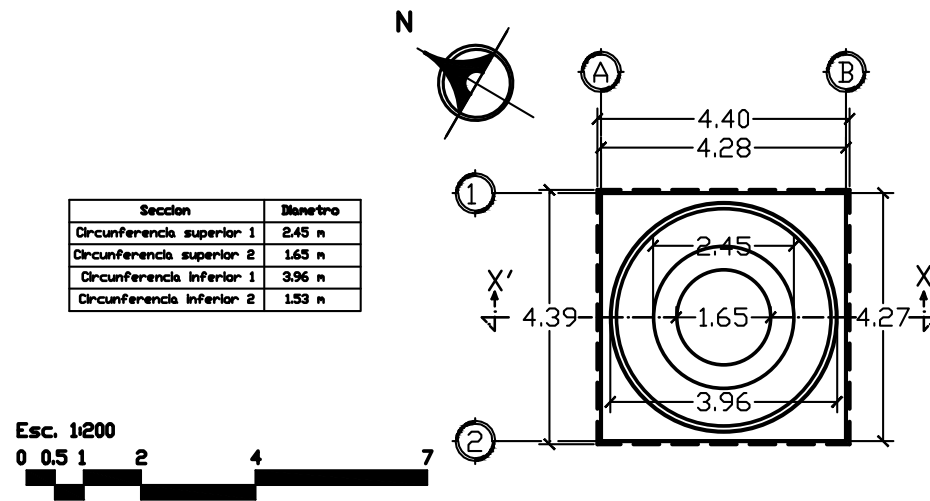


Figura 24. Planta Arquitectónica

Tabla 12. Peso de chimenea industrial Atlihuayan

Sección de chimenea	Material	Peso kg
Fuste	Mampostería de ladrillo	314,512.00
Base	Mampostería de ladrillo	70,528.00
Base empotrada en suelo	Mampostería de ladrillo	79,424.00
	Σ	464,464.00

3.3.3 Daños y agentes de deterioro del chacuaco Atlihuayan

Cuadro fisurativo

Apoyos: el chacuaco presenta algunas fisuras en la parte superior, común entre estos elementos de gran altura y esbeltez. La sección de la mitad del fuste superior presenta dos grietas de gran longitud. Se presentan otras dos grietas considerables en el centro del fuste. La base no presenta ninguna grieta o fisura importante.

Desplomes: El chacuaco presenta un desplome de 12 cm en su fuste, correspondiendo con la dirección de los vientos dominantes de la región.

Tabla 13. Matriz de interacción daños y deterioros chacuaco Atlihuayan

Componente Estructural	Fabrica o Procedimiento Constructivo	Materiales Utilizados	Deterioros		
			Tipos	Factores	Agentes
Suelo	Zona II transición	Rocas ígneas y materiales sedimentarios	Disgregación del tabique y soquedades por abrasión	Extrínseco-erosión eólica	Físico
Cimentación	Plataforma de mampostería maciza	Tabique cocido con morteros cal-arena	Fauna nociva-vegetación y musgo	Extrínseco-presencia de humedad	Físico-Químico
			Poca fauna nociva-vegetación y musgo	Extrínseco-abandono/falta de mantenimiento	Físico-Químico
Apoyos	Muros de mampostería/ geometría cilíndrica	Tabique cocido con morteros cal-arena	Agrietamiento en el fuste de la chimenea	El paso del tiempo	Histórico- Social

Nota: en base al las clases del Arq. Rocha Martínez, 2014.



Figura 25. Daños y deterioros del chacuaco Atlihuayan

Agentes de deterioro presentes en los casos de estudio

Físicos: a pesar del mantenimiento se observa degradación en el material y oquedades en la parte superior del fuste de la chimenea.

Químico: se observa poca presencia de humedad por capilaridad, ocasionando la degradación de tabique y presencia de eflorescencia de sales; la presencia de sales proviene de la composición química de las arcillas utilizadas para la elaboración de los ladrillos como ya se mencionó en el caso de estudio anterior.

Biológicos: este caso de estudio es el que se encuentra en constante mantenimiento por lo que la presencia de flora parasitaria a causa de la humedad presente en el elemento es muy poca.

Social-histórico: el paso del tiempo y su exposición a la intemperie como a la fuerza generada por el viento han generado grietas a lo largo del fuste de la chimenea.

3.1. Hacienda Cuahuixtla

3.1.2. Ubicación, historia fabril y arquitectura

Este conjunto arquitectónico entra dentro de la catalogación de monumento arquitectónico. Se localiza en el municipio de Ciudad Ayala, a unos 6 km al poniente, dentro de lo que hoy se conoce como el estado de Morelos. Esta hacienda fue fundada por dominicos quienes obtuvieron las tierras del pueblo de Anenecuilco para construir el primer trapiche en 1580. Se expande territorialmente en 1643, incorporando un rancho y una estancia de ganado mayor.



Figura 26. Ubicación de Cuautla

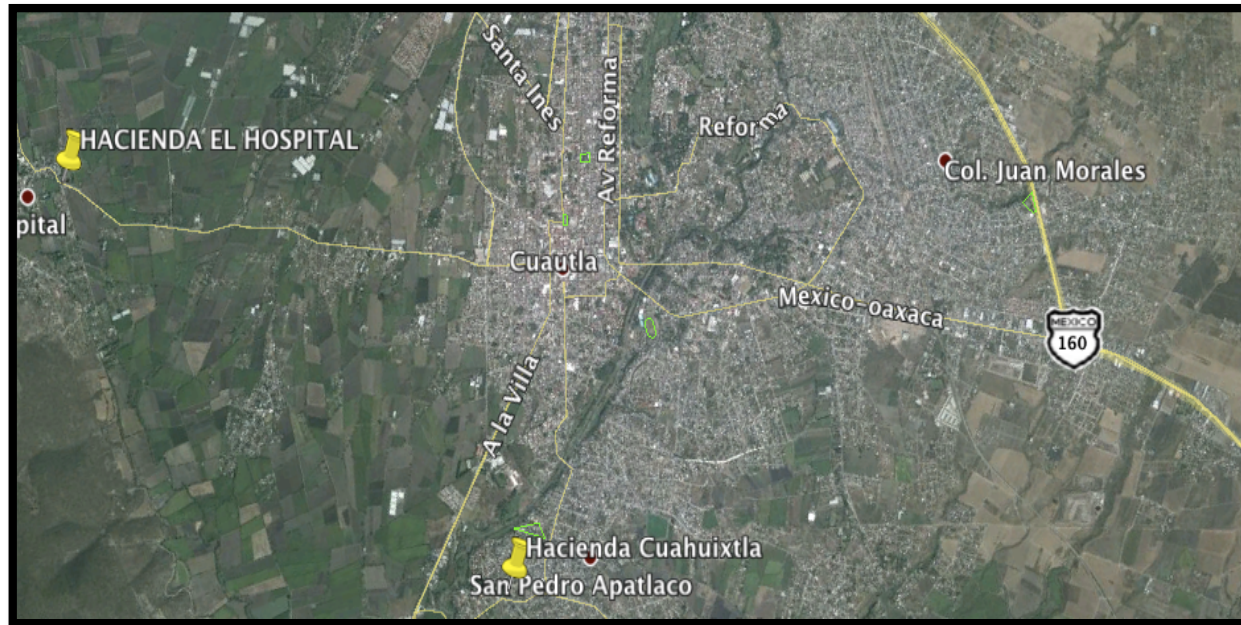


Figura 27. Localización hacienda Cuahuixtla. Imagen satelital obtenida por Google Maps (2014).

Para 1743 esta hacienda florece debido a su gran expansión territorial, estableciendo un beneficio de metales de Mapastlán y morteros y para 1790 ya contaba con una población de 512 habitantes. Para el año 1870 esta hacienda tiene una producción de 397.7 toneladas de azúcar y 770.5 toneladas de miel, la más grande producción de la región, sin embargo, para esta época todavía no había modernizado sus instalaciones y maquinaria por las de vapor (Felipe Ruiz Velasco). Resulta relevante mencionar que para esta época el aguardiente ya era legal y muy popular entre los colonos y los trabajadores, este producto se obtenía de las mieles residuales en el proceso de caña de azúcar, sin embargo, con su producción a gran escala, fue necesario otro espacio para este proceso fabril, los hornos.

Esta hacienda, moderniza sus instalaciones implementando maquinaria de vapor en el año 1874, logrando una producción de 891.43 toneladas de azúcar y 724.5 toneladas de miel, esto significa que duplicó su producción con la modernización de su

tecnología industria. Para el año 1887 esta hacienda, es considerada como una de las más importantes de la región y del país por su producción y la más importante por su maquinaria. Siguiendo su crecimiento productivo, en 1990 se registra una zafra con 2,165 toneladas de azúcar, aumentando a 3000 toneladas de azúcar, multiplicando casi 7 veces más su producción inicial (Ruiz de Velasco, Felipe. 1937). Por otra parte, la introducción del ferrocarril fue otro factor decisivo en la industria azucarera, facilitando y economizando el traslado del producto a toda la República Mexicana. La expansión territorial de esta hacienda alcanzó más de 9.900 hectáreas, factor importante debido al impacto territorial que sufre el territorio con los monocultivos de caña de azúcar, que además de desterrar otros cultivos como el trigo, es importante considerar que esta planta demanda de una gran cantidad de agua (Arias Gómez, María E. 2004).

Finalmente, la última zafra registrada es el año 1913 con una producción de 2.136 toneladas de azúcar. Después del movimiento revolucionario, en el cual se incendia esta propiedad, se reparte sus tierras en 12 ejidos, quedándole 73 hectáreas al casco de la hacienda, la cual ahora se puede visitar y es administrada por los ejidatarios del pueblo (Toussaint, 1997)

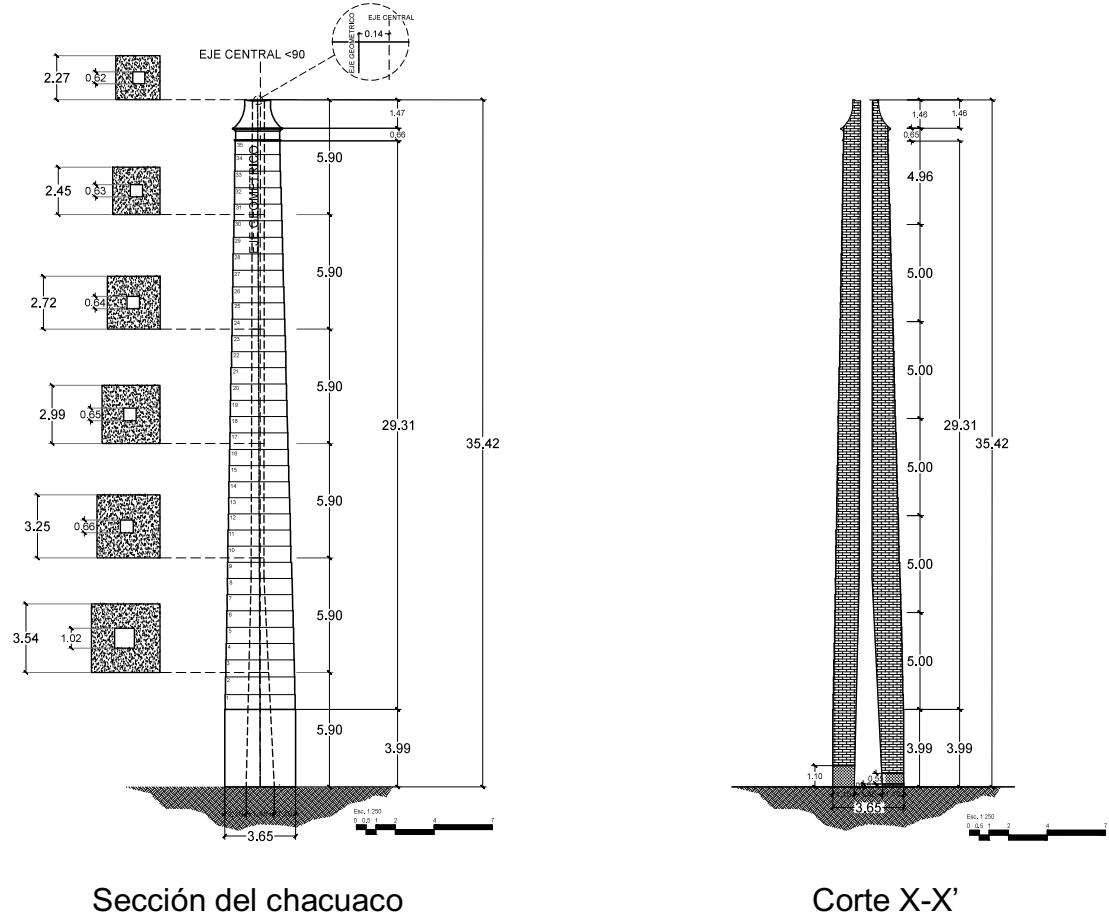
3.1.2. Geometría y características constructivas del chacuaco Cuahuixtla

Esta hacienda fue de las más grandes del país, por lo que en ella se logran varios chacuacos de sección cuadrada y de gran altura. Este caso de estudio es muy particular, ya que no se logra apreciar otras chimeneas industriales con las características que esta presenta. Esta chimenea alcanza una altura de 35.42 m y al igual que los otros casos de estudio está construida con mampostería de ladrillo organizada, sin embargo, en este caso si se le recubrió con una capa muy fina de estuco. La relación de esbeltez es de 1/10, relación óptima según las reglas tradicionales. A lo largo del tiro del fuste presenta un desplome de 0.40 %, el más grande de los 4 casos de estudio. La base tiene 2.70x 3.65 m en el desplante y de altura 3.98 m, teniendo un espesor de muros de 1.10 m.

En este caso la base se encuentra completamente sobre el nivel de piso, teniendo un pequeño acceso mediante un arco de 85 cm. ancho por 53 cm de altura. El ducto de la chimenea tiene 1.19 m en la base y se reduce a 0.61 m en la corona de remate. En el exterior se desplanta el fuste con una dimisión de 3.61 m terminando en la corona con 1.33 m. Finalmente el fuste se encuentra

seccionado por tramos aproximados de 80 a 90 cm de tal manera que en cada sección se va reduciendo el espesor de muro 4 cm en total, 2 cm de cada lado.

Este chacuaco ya presenta daños mecánicos como grietas a lo largo del fuste, falta de materia en la corona del remate y así como también la pérdida de estuco que cubre el sistema constructivo de la intemperie. Sin embargo, solo presenta una primera intención de restauración mal lograda, en general se encuentran en estado de abandono.



Sección del chacuaco
Figura 28. Sección y corte del chacuaco Cuahuixtla

$P_t = 27,283.20 \text{ kN}$
 $d = 3.65 \text{ m}$
 $q = 0.66 \text{ m}$
 $q' = 0.14 \text{ m}$
 $w = 1.25 \text{ kN}$
 $hw = 31.90 \text{ m}$
 $m = 1.44 \text{ m y } 0.45 \text{ m}$
 $y = 15.69 \text{ kN}$

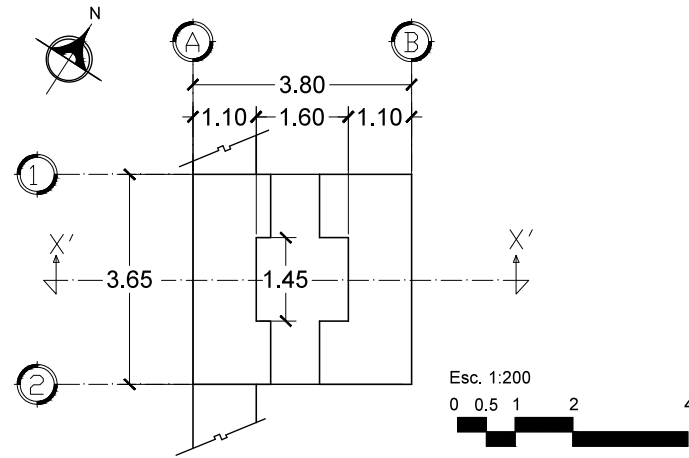


Figura 29. Planta arquitectónica y sección por tramo del chacuaco Cuahuixtla

Tabla 14. Peso de chimenea industrial Cuahuixtla

Sección de chimenea	Material	Peso kg
Fuste	Mampostería de ladrillo	2,784,000.00
Base	Mampostería de ladrillo	318,560.00
Base empotrada en suelo	Mampostería de ladrillo	000.00
	Σ	3,102,560.00

3.1.3 Daños y agentes de deterioro del chacuaco Cuahuixtla

Cuadro fisurativo

Apoyos: el chacuaco presenta fisuras en la parte superior de la torre y en la punta, sobre todo horizontales, posiblemente ocasionadas por el movimiento oscilatorio del propio chacuaco y por los rayos que caen en la corona de la chimenea durante las

tormentas eléctricas en temporada de lluvia. La falta de estuco se presenta en dos de las fachadas: en eje 1 y en eje B (ver planos de fachadas).

Desplomes: El chacuaco presenta un desplome de 14 cm en su fuste, correspondiendo con la dirección de los vientos dominantes, de noreste hacia el suroeste.

Tabla 15. Matriz de interacción daños y deterioros chacuaco Cuahuixtla.

Componente Estructural	Fabrica o Procedimiento Constructivo	Materiales Utilizados	Deterioros		
			Tipos	Factores	Agentes
Suelo	Zona II transición	Rocas ígneas y materiales sedimentarios	Disgregación del tabique y soquedades (abrasión)	Extrínseco-erosión eólica	Físico
Cimentación	Plataforma de mampostería maciza	Tabique cocido con morteros cal-arena	Desprendimiento del mortero y tabique	Extrínseco-presencia de humedad	Físico-Químico
			Manchas por presencia de musgo	Extrínseco-abandono/falta de mantenimiento	Físico-Químico
Apoyos	Muros de mampostería/ geometría cilíndrica	Tabique cocido con morteros cal-arena	Perforaciones en base y fuste	Cascos de bala	Histórico- Social

Nota: en base al las clases del Arq. Rocha Martínez, (2014).



Figura 30. Daños y deterioros del chacuaco Cuahuixtla

Agentes de deterioro

Físicos: la erosión eólica y la presencia de humedad ha generado degradación del material y manchas ocasionadas por presencia de musgo en temporada de lluvias, así como también falta de material en la corona de la chimenea por impacto de rayos durante tormentas eléctricas.

Químico: se observa la falta de estuco en dos de las fachas, esto puede ser provocado por la humedad presente en el viento, formando salitre y el desprendimiento del repellado por falta de mantenimiento.

Social-histórico: pequeñas perforaciones y cascos de bala incrustados tanto en la base como en la parte baja del fuste. Esta hacienda fue incendiada durante el movimiento revolucionario, además de los saqueos violentos que sufrieron estos edificios.

Capítulo 4

Evolución y características estructurales del chacuaco en los casos de estudio

El capítulo final de este trabajo presenta una relación paralela entre la industria azucarera en la región oriente del estado y la función los espacios arquitectónicos, pero sobre todo enfocado a la chimenea industrial. Estas dos variables son el eje central de la investigación, sin embargo, para lograr un mayor entendimiento de esta transformación y su evolución- tanto de la industria como del chacuaco-, resulta indispensable considerar otros factores como; clima, las condiciones sociales, las políticas y los recursos disponibles tanto naturales como humanos. Estos factores se analizarán bajo un enfoque multidisciplinario, pero con una línea de investigación bien definida, línea que encaminara a comparar las características de estos componentes en cada caso de estudio para finalmente concluir cuales fueron los factores decisivos que dieron como resultado la evolución de la chimenea industrial.

Por otro lado, parte del interés por estudiar estas estructuras esbeltas características de los procesos productivos industriales, recae en salvar el testimonio histórico del cual fueron escenario bajo un enfoque arquitectónico. Dentro de las disciplinas de la conservación y restauración es de vital importancia contar con un archivo que contenga la información necesaria para realizar intervenciones lo menos destructivas posibles.

4.1. Estudio comparativo de las características geométricas de los casos de estudio dentro de la evolución industrial azucarera

En una etapa inicial se construían varias chimeneas alineadas en la casa de calderas y la hornalla, como en la hacienda de El Hospital y en Atlihuayán, dos de los casos de estudio. La geometría de estas chimeneas es de sección cuadrada y de una altura

menor a las construidas con sección circular, aproximadamente entre 15 m y 20 m. El número de chimeneas dependía del número de hornallas. A diferencia de las construidas de mampostería regular y de gran altura, estos primeros chacuacos sí contaban con aplanados de estuco. Sin embargo, las características climáticas de la región propiciaron el crecimiento de la industria en corto plazo. La adaptación de la caña de azúcar supero las expectativas ya que se contaba con tierra fértil, abundante agua y extensiones de tierra grandes en planicie. En un inicio la molienda de la caña se hacía por medio de tracción animal, pero debido a las grandes cantidades de caña que salían de la zafra se requirió un método más eficiente, por lo que se implementó la molienda por medio de la rueda hidráulica. En este sentido no todas las haciendas modernizaron este método a la par, esto dependía de las condiciones económicas de los dueños en turno. En la siguiente tabla se aprecia el aumento de producción articulado con el chacuaco del siglo XI comparado con el de inicios del siglo XIX, contemplando su geometría (ver tabla 16).

Tabla 16. Características geométricas de los casos de estudio y producción

HACIENDA	CHACUACO	GEOMETRIA	ESBELTEZ	MUROS	PRODUCCIÓN TON AZÚCAR
El hospital	S. XVI	Cuadrada	1/ 7.8	1/32	400-500
	S. XIX	Circular	1/13	1/22	2000-2500
Chinameca	S. XIX	Circular	1/7.8	1/33	1000-1500
Atlihuayan	S. XVI	Cuadrada	1/13	1/22	600-700
	S. XIX	Circular	1/8.3	1/27	3000-3200
San Antonio Cuahuixtla	S. XIX	cuadrada	1/10	1/23.8	3000

Nota: Elaboración propia, (2015).

Por otra parte, se observan chacuacos de igual geometría cuadrada, pero de mayor altura en la hacienda de San Antonio Cuahuixtla. Esta hacienda se moderniza en 1874 debido a la gran producción que tiene y a la gran demanda de la industria. Dentro de esta modernización se introduce la máquina de vapor, considerándolo ya para 1887 como uno de los ingenios más importantes de México (Scharrer. 1997), destacando que dentro de las instalaciones se contaba también con una fábrica de aguardiente, lo que requirió de un espacio más de producción relacionado con las chimeneas industriales (ver tabla 15). Otro factor a destacar es la

disposición de los chacuacos, ya que para esta etapa sólo se construía un chacuaco por casa de calderas. De tal manera que se conectaban los ductos de todas las hornallas para desalojar los gases producidos por la combustión, a estos ductos se les conoce como galería interior. En la intersección de esta galería y la chimenea existe una disminución de altura, a este espacio se le conoce como cenicero y en él se acumulan las cenizas llevadas por el humo (López. 2007).

Tabla 17. Historia fabril y modernizaciones

HACIEDA	MODERNIZACION	ZAFRA	PRODUCCION TON AZÚCAR	AUMENTO PRODUCCIÓN
El hospital	1625 Rueda Hidráulica	1821	471.5	5
	S.XVIII y XIX Chacuaco	1908	2500	
Chinameca	1906 fábrica de aguardiente	1907	1030	-----
Atlihuayan	S. XVII y XVIII	1877	646.8	6
	S XIX	XIX	3200	
Cuahuixtla	1643 Expansión territorial y aumento de población. Rueda Hidráulica	1870	397.9	2.5
	1700 Máquina de vapor	1874	891.43	2.4
		1900	2165	
	1800 Ferrocarril	1901	3000	1.3
		1912	2136	0.7

Nota: Elaboración propia, (2015).

Los principales factores que influyeron en el crecimiento de esta industria fueron los cambios en la tecnología implementada la producción de azúcar y las características climáticas de la región como ya se mencionó. Sin embargo, esto se articula con la mano de obra barata y especializada, tanto en la agricultura como en la construcción. Varios de los autores consultados para esta investigación, como Rendón (1994), Von Webesar (1988), Jiménez (1986) entre otros, mencionan el crecimiento demográfico, ya que con el crecimiento industrial también se requirió mano de obra para tal producción.

Finalmente se muestran las grandes chimeneas industriales de mampostería de ladrillo y geometría circular, en las que se logra ver el aparejo del material, muestra de un manejo técnico del sistema constructivo. Los chacuacos tomados como casos de estudio son El Hospital, Chinameca y Atlihuayan con estas características se empiezan a construir en la segunda mitad del siglo

XIX, ya que en este periodo la mayoría de las haciendas azucareras ya conformaban grandes latifundios además de entrar a una etapa de modernización, la máquina de vapor (ver tabla 15).

4.2 Casos de estudio y las reglas europeas del cálculo tradicional

La economía fue otro factor para optar por la construcción de una sola chimenea conectada a varios hornos mediante la galería interna, de esta manera se mantenían los costos para su edificación a un mínimo. En consecuencia, a todos estos factores es que determina la construcción de las chimeneas con estas características constructivas y estructurales, como última fase evolutiva de los chacuacos de las haciendas azucareras en Morelos (ver figura 27). Sin embargo, las reglas empíricas del cálculo tradicional fueron las bases para el diseño de estas estructuras en nuestra región, que si bien no cumple a la perfección con las proporciones aportadas por los tratadistas góticos alemanes y Rodrigo Gil de Hontañon se aproximan bastante. También se tiene que considerar que, dentro de este marco, el cálculo tradicional, se debate bastante acerca de lo sobradas que pudieran estar estas reglas, ya que, en este sentido, son el antecedente del análisis estructural como se conoce hoy en día.

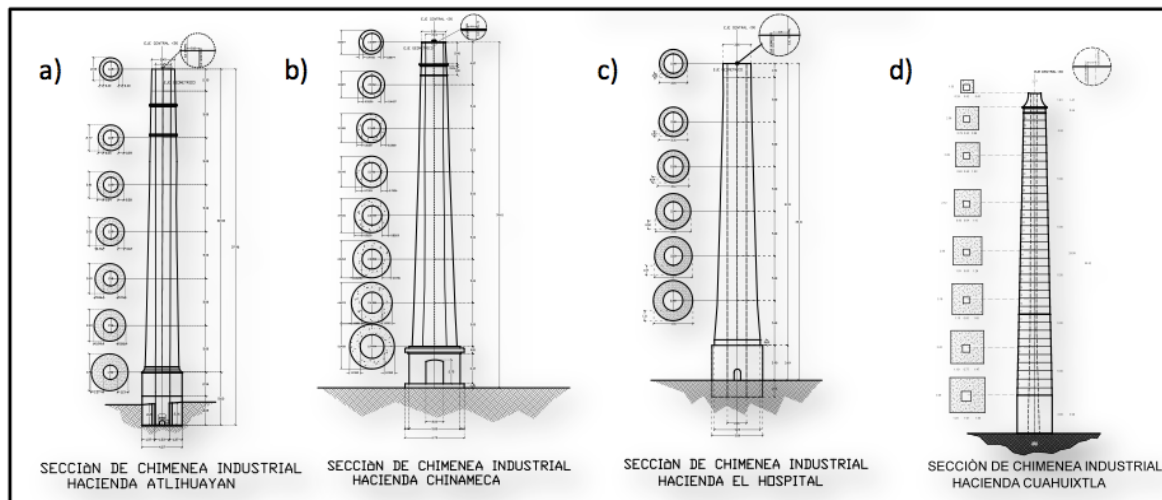


Figura 31. Sección geométrica de las chimeneas industriales. a) Atlahuayán, b) Chinameca, c) Hospital, d) Cuahuixtla . Elaboración propia, (2015).

A continuación, se presenta en conjunto las características de proporción geométrica de cada caso de estudio, tomando en su relación de esbeltez y el grosor de muro (ver figura 27 y tabla 16). Siguiendo en esta línea, se logra apreciar que para el caso de la relación de esbeltez los casos de El hospital y Chinameca presenta una relación de 1/8 sí se redondea el resultado, el caso de Atlihuayan se aleja un poco más, pero al igual, sí se redondea el resultado también tiene una relación de esbeltez de 1/8, esta relación es entre la dimensión de su base y su altura. Sin embargo, es indispensable considerar también para el diseño de estas estructuras se refiere al espesor de muro, en donde las características del sistema constructivo juegan un papel imprescindible, ya que este es el que proporciona el comportamiento mecánico articulado del diseño. En este sentido todos los casos de estudio están contruidos de mampostería de ladrillo organizado, este sistema funciona a comprensión, de modo que conforme se va reduciendo la sección del fuste, se va aligerando la carga. Otro factor que interviene con la geometría y el dimensionamiento de los chacuacos es la presión dinámica del viento, la cual es el resultado de la fuerza dominante del viento en la región en acción con la superficie del área de la chimenea. Estas fuerzas provocan torsión en las estructuras, la cual se puede ver reflejada en los desplomes del eje geométrico (ver tabla 14). En este sentido, observándolos el resultado de los casos de estudio se puede inferir en que a mayor grosor de muro mayor es el desplome del eje geométrico como en el caso de San Antonio Cuahuixtla.

Tabla 18. Evolución del chacuaco en los casos de estudio

CHACUACO	ALTURA	MUROS	ESPEJOR	ESBELTEZ	DESPLOME	%
	m	m			cm	
HOSPITAL	35.41	1.11	1/32	1/ 8	5	0.14
CHINAMECA	39.61	1.20	1/33	1/8	11	0.27
ATLIHUAYAN	35.51	1.30	1/27	1/8	12	0.37
CUAHUIXTLA	35.26	1.26	1/28	1/13	14	0.40

Nota: Elaboración propia, (2015).

Posteriormente se construyen chimeneas con mayor altura durante el siglo XX, con la introducción de un nuevo sistema constructivo, concreto armado, además de las reestructuraciones políticas y económicas que se adoptaron casi en toda América Latina, por lo que estas construcciones quedan fuera de esta investigación.

4.3 Cálculo sencillo de estabilidad ante propio peso y línea de presiones en los casos de estudio

En este último, apartado se presentan los resultados del cálculo ya comentado tomando en cuenta la acción del viento. Para su comprobación se obtuvo la línea de presiones y el núcleo geométrico. Así mismo se articula el periodo histórico de la industria en cada caso de estudio, con el periodo en el que se modificaron las características del chacuaco como; dimensiones, geometría, funcionamiento y ubicación.

Por otro lado, también se valora que tan sobradas están o no las reglas empíricas del cálculo tradicional que determinan el dimensionamiento tanto de muros, así como la altura en las estructuras esbeltas de mampostería. En esta misma línea, como es el caso de las chimeneas industriales, con el aumento de altura del elemento, la acción del viento comienza a comprometer la estabilidad de las construcciones, similar a como lo hacen las cargas gravitatorias. En este sentido, no es primordial para este trabajo un cálculo especializado por viento, sin embargo, si se comprobó mediante la gráfica de la línea de presiones y núcleo geométrico.

$$P_n = (0.7) (1.2) (181.27)$$

$$P_n = 107.05 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo del Chacuaco de la Hacienda el Hospital

Núcleo geométrico

$$I = \frac{\pi}{4} (r^4 - r_m^4)$$

$$I = 50.09 \text{ m}^4$$

$$A = \pi (r^2 - r_m^2)$$

$$A = 20.14 \text{ m}^2$$

$$K_2 = \frac{I}{A}$$

$$K_2 = 2.49 \text{ m}^2$$

$$e = \frac{K_2}{r}$$

$$e = 0.88 \text{ m}^2$$

El núcleo geométrico es un círculo con 1.75 m de diámetro.

Peso propio de la chimenea por

Bases del cálculo

$$w' = 107.05 \text{ kg/m}^2$$

$$h = 6.38 \text{ m}$$

$$q = 1800 \text{ kg/m}^2$$

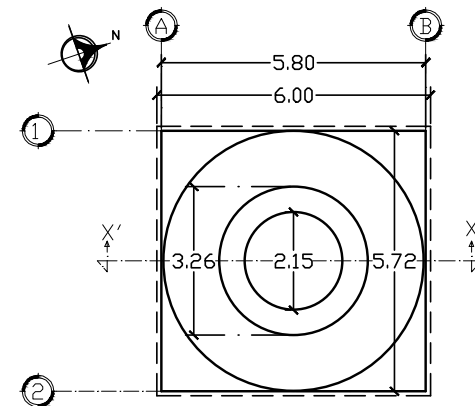


Figura 32. Planta Arquitectónica chacuaco El Hospital

Secciones

$$P = \sum P_n = \sum (R_{e_i}^2 - R_{i_i}^2) \pi h q$$

$$P_1 = (1.73^2 - 1.10^2) \times \pi \times 3.38 \times 1800 = 64,323.35$$

$$P_2 = (1.94^2 - 1.13^2) \times \pi \times 3.38 \times 1800 = 89,715.29$$

$$P_3 = (2.07^2 - 1.30^2) \times \pi \times 3.38 \times 1800 = 108,522.77$$

$$P_4 = (2.22^2 - 1.16^2) \times \pi \times 3.38 \times 1800 = 129,260.43$$

$$P_5 = (2.58^2 - 1.60^2) \times \pi \times 3.38 \times 1800 = 147,790.12$$

$$P = 539,612.16 \text{ kg}$$

Acción del viento

$$H = \sum H_n = (w' h d)$$

$$H_1 = 107.05 \times 6.38 \times 3.46 = 2\,363.11$$

$$H_2 = 107.05 \times 6.38 \times 3.38 = 2\,649.95$$

$$H_3 = 107.05 \times 6.38 \times 4.14 = 2\,827.53$$

$$H_4 = 107.05 \times 6.38 \times 4.44 = 3\,032.47$$

$$H_5 = 107.05 \times 6.38 \times 3.46 = 3\,524.17$$

$$H = 14\,397.23 \text{ kg}$$

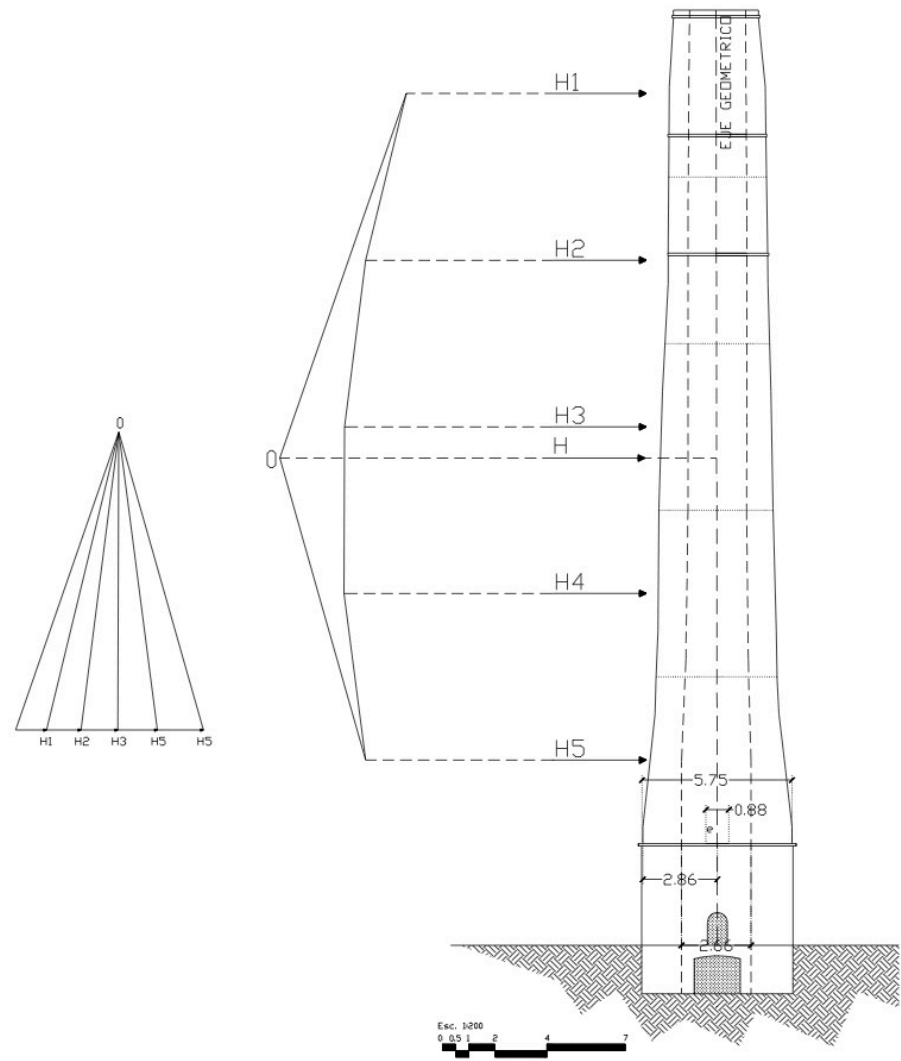


Figura 33. Gráfica línea de presiones El Hospital

Cálculo del Chacuaco de la Hacienda Chinameca

Núcleo geométrico

$$I = \frac{\pi}{4} (r^4 - r_{-m}^4)$$

$$I = 31.50 \text{ m}^4$$

$$A = \pi (r^2 - r_{-m}^2)$$

$$A = 14.85 \text{ m}^2$$

$$K_2 = \frac{I}{A}$$

$$K_2 = 2.12 \text{ m}^2$$

$$e = \frac{K_2}{r}$$

$$e = 0.83 \text{ m}^2$$

El núcleo geométrico es un círculo con 1.65 m de diámetro.

Peso propio de la chimenea por Secciones

$$P = \sum P_n = \sum (R_e^2 - R_i^2) \pi h q$$

$$P_1 = (1.47^2 - 1.03^2) \times \pi \times 6.97 \times 1800 = 43,355.86$$

$$P_2 = (1.69^2 - 1.06^2) \times \pi \times 6.97 \times 1800 = 68,285.48$$

$$P_3 = (1.79^2 - 1.12^2) \times \pi \times 6.97 \times 1800 = 78,596.29$$

$$P_4 = (2.14^2 - 1.14^2) \times \pi \times 6.97 \times 1800 = 129,279.30$$

$$P_5 = (2.59^2 - 1.26^2) \times \pi \times 6.97 \times 1800 = 201,821.54$$

$$P = 521,318.47 \text{ kg.}$$

Bases del cálculo

$$w' = 107.05 \text{ kg/m}^2$$

$$h = 6.97 \text{ m}$$

$$q = 1800 \text{ kg/m}^2$$

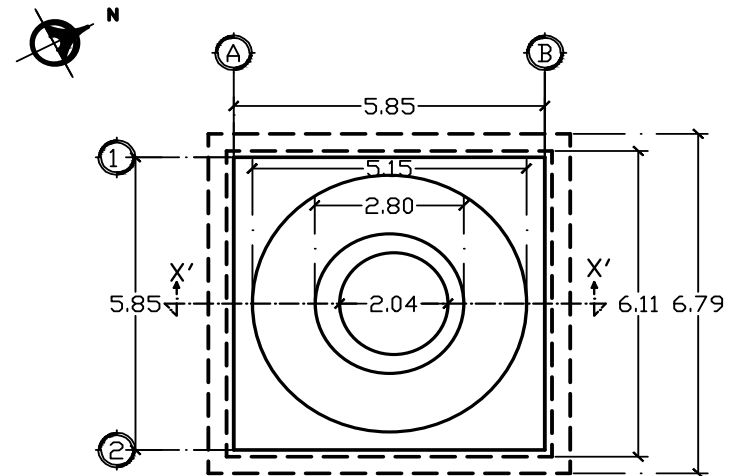


Figura 34. Planta arquitectónica chacuaco Chinameca

Acción del viento

$$H = \sum H_n = (w' \cdot h \cdot d)$$

$$H_1 = 107.05 \times 6.97 \times 2.94 = 2\,193.64$$

$$H_2 = 107.05 \times 6.97 \times 3.38 = 2\,521.95$$

$$H_3 = 107.05 \times 6.97 \times 3.58 = 2\,671.17$$

$$H_4 = 107.05 \times 6.97 \times 4.28 = 3\,293.47$$

$$H_5 = 107.05 \times 6.97 \times 5.18 = 3\,864.99$$

$$H = 14\,445.19 \text{ kg}$$

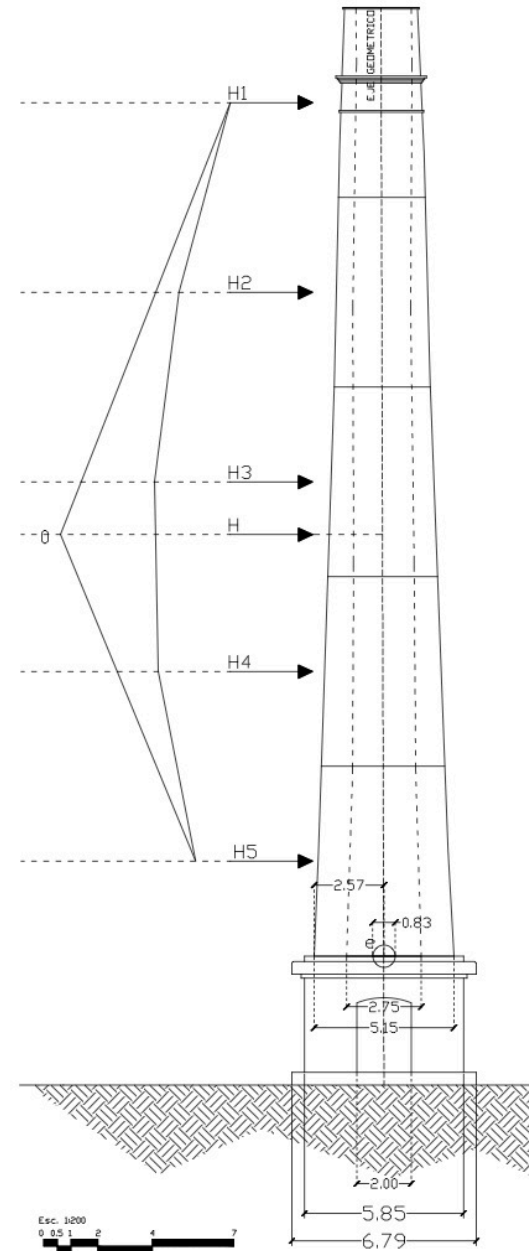
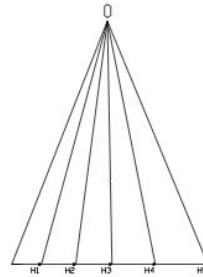


Figura 35. Gráfica línea de presiones Chinameca

Calculo del Chacuaco de la Hacienda Atlihuayan

Núcleo geométrico

$$I = \frac{\pi}{4} (r^4 - r_m^4)$$

$$I = 11.83 \text{ m}^4$$

$$A = \pi (r^2 - r_m^2)$$

$$A = 12.17 \text{ m}^2$$

$$K_2 = \frac{I}{A}$$

$$K_2 = 0.97 \text{ m}^2$$

$$e = \frac{K_2}{r}$$

$$e = 0.49 \text{ m}^2$$

El núcleo geométrico es un círculo con 0.99 m de diámetro.

Peso propio de la chimenea por Secciones

$$P = \sum P_n = \sum (R e_i^2 - R i_i^2) \pi h q$$

$$P_1 = (1.29^2 - 0.82^2) \times \pi \times 6.47 \times 1800 = 36,283.31$$

$$P_2 = (1.40^2 - 0.81^2) \times \pi \times 6.47 \times 1800 = 47,705.77$$

$$P_3 = (1.52^2 - 0.79^2) \times \pi \times 6.47 \times 1800 = 61,696.63$$

$$P_4 = (1.63^2 - 0.78^2) \times \pi \times 6.47 \times 1800 = 74,948.44$$

$$P_5 = (1.82^2 - 0.78^2) \times \pi \times 6.47 \times 1800 = 98,931.21$$

$$P = 319,565.36 \text{ kg.}$$

Bases del cálculo

$$w' = 107.05 \text{ kg/m}^2$$

$$h = 6.47 \text{ m}$$

$$q = 1800 \text{ kg/m}^2$$

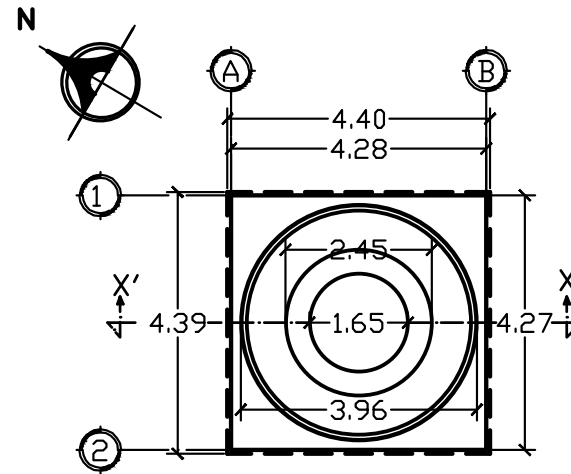


Figura 36. Planta arquitectónica chacuaco Atlihuayan

Acción del viento

$$H = \sum H_n = (w' \cdot h \cdot d)$$

$$H_1 = 107.05 \times 6.47 \times 2.58 = 1\,786.94$$

$$H_2 = 107.05 \times 6.47 \times 2.80 = 1\,939.32$$

$$H_3 = 107.05 \times 6.47 \times 3.04 = 2\,105.55$$

$$H_4 = 107.05 \times 6.47 \times 3.26 = 2\,257.92$$

$$H_5 = 107.05 \times 6.47 \times 3.64 = 2\,521.11$$

$$H = 10\,610.84 \text{ kg}$$

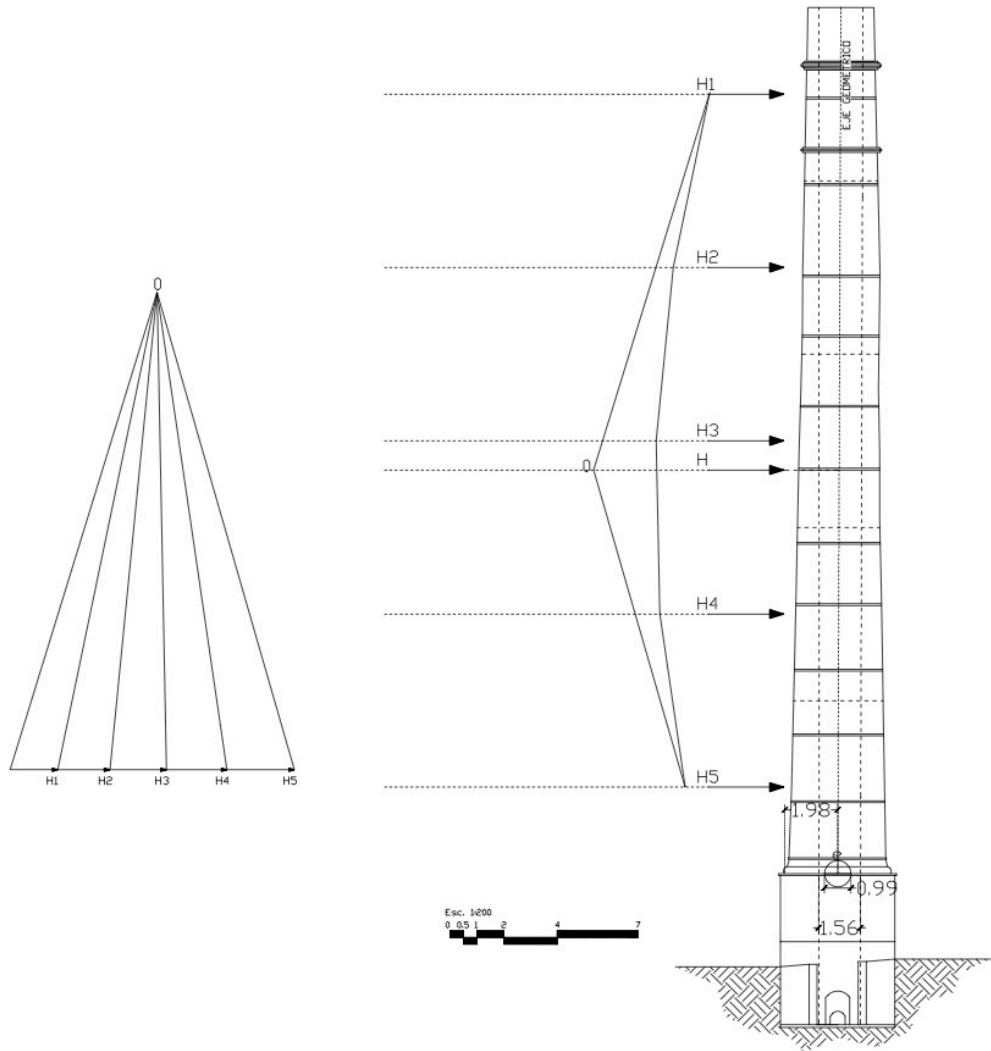


Figura 37. Gráfica línea de presiones Atlhuayan

Calculo del Chacuaco de la Hacienda Cuahuixtla

Núcleo geométrico

$$I = \frac{\pi}{4} (r^4 - r_m^4)$$

$$I = 8.57 \text{ m}^4$$

$$A = \pi (r^2 - r_m^2)$$

$$A = 9.62 \text{ m}^2$$

$$K_2 = \frac{I}{A}$$

$$K_2 = 0.89 \text{ m}^2$$

$$e = \frac{K_2}{r}$$

$$e = 0.49 \text{ m}^2$$

El núcleo geométrico es un círculo con 0.98 m de diámetro.

Peso propio de la chimenea por Secciones

$$P = \sum P_n = \sum (L \times L) \times h \times q$$

$$P_1 = (2.36 \times 2.36) \times 5.9 \times 1800 = 59,149.15$$

$$P_2 = (2.58 \times 2.58) \times 5.9 \times 1800 = 70,690.96$$

$$P_3 = (2.85 \times 2.85) \times 5.9 \times 1800 = 86,260.95$$

$$P_4 = (3.12 \times 3.12) \times 5.9 \times 1800 = 103,379.32$$

$$P_5 = (3.39 \times 3.39) \times 5.9 \times 1800 = 122,046.10$$

$$P_6 = (3.59 \times 3.19) \times 5.9 \times 1800 = 136,871.62$$

$$P = 578,398.10 \text{ kg.}$$

Bases del cálculo

$$w' = 196.25 \text{ kg/m}^2$$

$$h = 5.90 \text{ m}$$

$$q = 1800 \text{ kg/m}^2$$

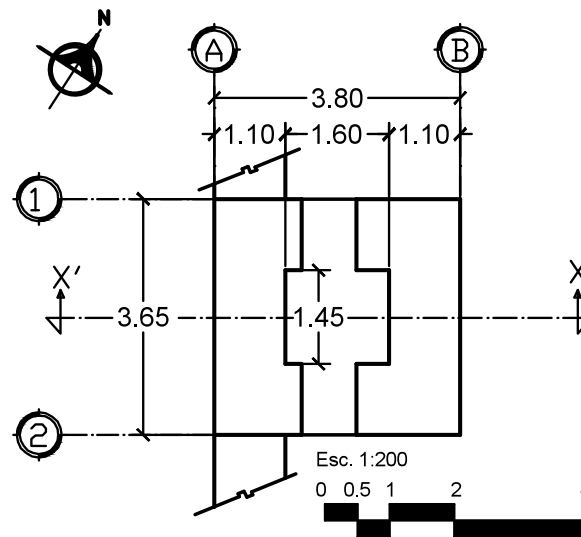


Figura 38. Planta Arquitectónica chacuaco Cuahuixtla

Acción del viento

$$H = \sum H_n = (w' \cdot h \cdot d)$$

$$H_1 = 196.25 \times 5.9 \times 2.36 = 2\,732.58$$

$$H_2 = 196.25 \times 5.9 \times 2.58 = 2\,987.31$$

$$H_3 = 196.25 \times 5.9 \times 2.85 = 3\,299.94$$

$$H_4 = 196.25 \times 5.9 \times 3.12 = 3\,612.57$$

$$H_5 = 196.25 \times 5.9 \times 3.39 = 3\,925.19$$

$$H_6 = 196.25 \times 5.9 \times 3.59 = 4\,156.77$$

$$H = 20\,714 \text{ kg}$$

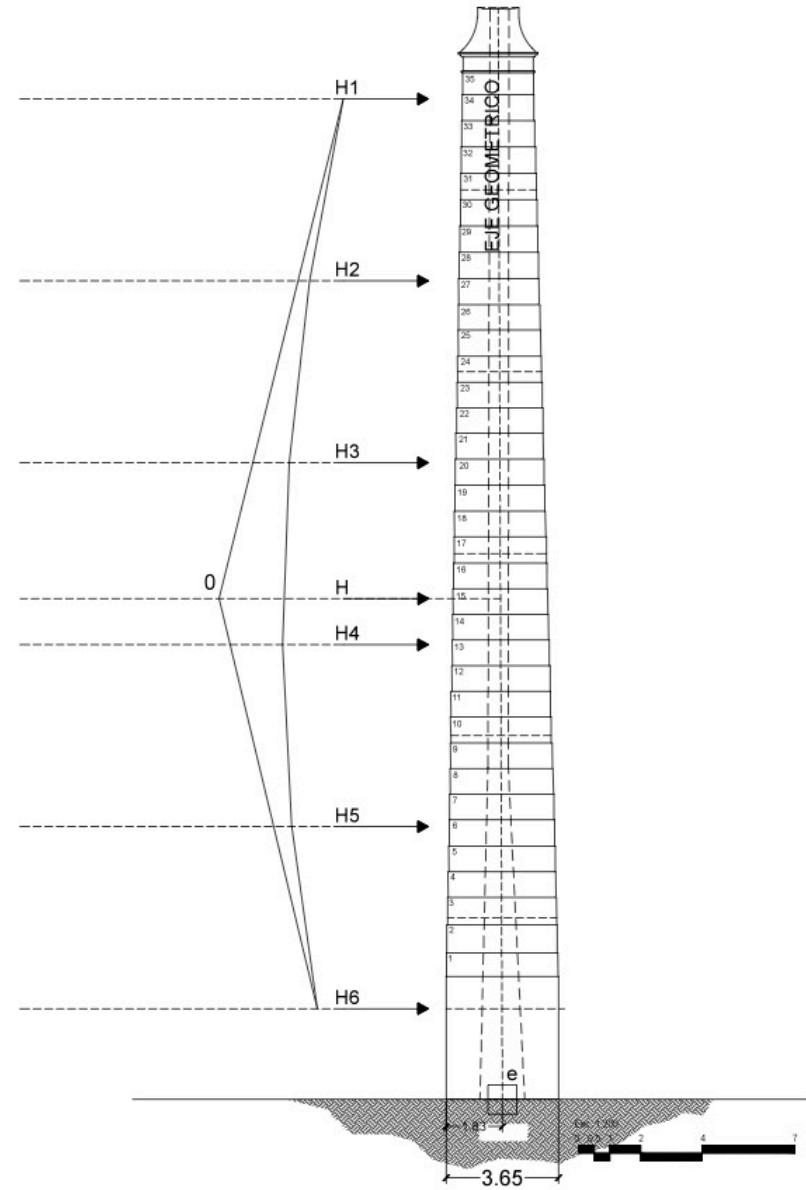
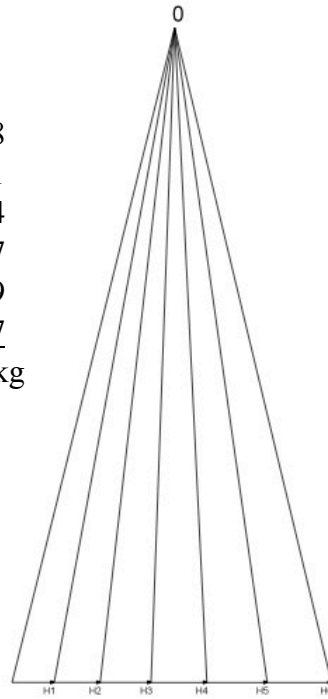


Figura 39. Gráfica línea de presiones Cuahuixtla

4.3.1 Comparación del cálculo en los casos de estudio

Para el cálculo de estructuras esbeltas es necesario conocer en primer lugar su núcleo geométrico e , a partir de el se establece el factor de seguridad que define la seguridad geométrica de todo el cuerpo, para estos casos se toma el utilizado por Huerta $q = 1/2 e$. Para conocer el núcleo geométrico es necesario conocer el área de la sección mas critica de la estructura, en este caso se toma la sección inferior en donde se encuentran los muros de mayor dimensión y su momento de inercia, el cual determina la rigidez de la estructural. Paso siguiente es obtener el módulo de la sección que se está analizando, este es el resultado de la relación entre su momento de inercia y el área eficaz de la sección. Finalmente se conoce el núcleo geométrico dividiendo el módulo de su sección entre el radio de la sección geometría, esto es la distancia más alejada al eje central.

Siguiendo con el cálculo, para poder obtener la línea de presiones que actúa en los chacuacos, fue necesario investigar la velocidad regional de la zona y calcular bajo las normas del Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por viento de la Comisión Federal de Electricidad (2008), la presión dinámica del viento. Posteriormente se seccionaron los fustes de las chimeneas en 5 parte, en el caso de Cuahuixtla por su composición geométrica se tomó la estructura completa desde la base y quedo dividida en 6 secciones para su cálculo. En un primer paso se obtiene el peso y la acción que ejerce el viento en cada una de las secciones, para al final sacar la suma de tanto del peso completo de la chimenea como de la fuerza que se ejerce en toda la estructura con la acción del viento. En un segundo paso se obtienen el polo eligiendo un punto cualquiera que nos ayudara a graficar el polígono funicular de donde se obtiene la resultante. Finalmente se hace el diagrama de fuerzas y se grafica la línea de presiones en la estructura. En la tabla 19 se encuentra concentrados las características y los resultados del cálculo de cada uno de los casos de estudio para poder facilitar su comparación.

Tabla 19. Cuadro comparativo de los casos de estudio.

CHACUACO	h m	A m²	P Kg	e m²	H Kg/m²	R kg	E_m	E_s	D_e cm
HOSPITAL	31.90	20.14	539,612.16	1.75	107.05	14 397.23	1/32	1/ 8	5
CHINAMECA	34.87	14.85	521,318.47	1.65	107.05	14 445.19	1/33	1/8	11
ATLIHUAYAN	32.33	12.17	319,565.36	0.99	107.05	10 610.84	1/27	1/8	12
CUAHUIXTLA	35.42	9.62	578,398.10	0.98	196.25	20 714.36	1/28	1/13	14

Nota: Elaboración propia, (2015).

h= altura del fuste de la chimenea

A= área de la base

e= núcleo geométrico

P= peso del fuste de la chimenea

H= acción del viento sobre la superficie de la chimenea

R= resultante

E_m= espesor de muro

E_s= relación de esbeltez

D_e= desplome de la chimenea

En general todos los casos de estudio resultaron estables, tomando en cuenta que la mampostería tiene una resistencia a la compresión de 200,000 kg/m², se compara esta resistencia con el peso del fuste de la chimenea, en donde la resistencia siempre es mayor al peso, por lo que la estructura se encuentra estable (Tabla20). En cuanto a la línea de presiones, de igual manera en todos los casos la presión generada por el viento es menor que la fuerza o peso propio de la estructura, por lo cual la estructura no falla ante las acciones del viento. Se puede observar por medio del levantamiento y de la línea de presiones que una parte crítica se encuentra a la mitad del cilindro, es ahí en donde se ubica la resultante, además de que se pueden observar una leve deformación de abultamiento a esta altura de las chimeneas. Sí bien el peso de la chimenea y las fuerzas provocadas por la acción del viento se suman actuando en la base de la estructura, su punto más frágil se encuentra en el centroide del volumen de la chimenea. Hay que tener en cuenta que en tres de los casos de estudio hubo derrumbé en parte de la chimenea perdiendo altura, por lo que su factor de esbeltez podría haber sido mayor, sin embargo, esta pérdida de material y altura no se debió a su comportamiento estructural, fueron ajetes históricos y sociales en la mayoría de los casos los que influyeron en su deterioro.

Tabla 20. Comparación de resultados

CHACUACO	ÁREA DE LA BASE	PESO DEL FUSTE	ACCIÓN DEL VIENTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN EN LA BASE
HOSPITAL	36.00	539,612.16	14 397.23	7,200,000.00
CHINAMECA	34.22	521,318.47	14 445.19	6,844,000.00
ATLIHUAYAN	19.36	319,565.36	10 610.84	3,782,000.00
CUAHUIXTLA	13.87	578,398.10	20 714.36	2,774,000.00

Nota.: Elaboración propia, (2015).

Conclusiones

Es relevante mencionar que la evolución dada en la industria no solo se vio reflejada en los espacios arquitectónicos y en sus elementos industriales. Dentro del marco teórico de la Arquitectura Industrial, parte importante de la presente investigación es precisamente evidenciar la articulación de los factores que intervinieron en la historia de las haciendas azucareras logrando así un mejor entendimiento de su crecimiento y evolución. De manera que se observa a la par como el crecimiento de esta industria transforma la arquitectura de las haciendas, requiriendo de más espacio para la nueva maquinaria.

El caso del chacuaco requirió transformarse por cuestiones de salubridad, ya que debido a las grandes cantidades de melaza que se tenían que procesar, los pequeños chacuacos llegaron a ser insuficientes para sacar el humo y los gases tóxicos, además de que la altura favorecía a no contaminar el aire de las comunidades aledañas. De este modo es que se saca por completo el chacuaco de la casa de calderas, conectado mediante una cámara interna los ductos de cada caldera. Sin embargo, también fue necesario lograr mayor altura en este elemento industrial para aumentar la succión necesaria de aire, de manera que con la transformación del chacuaco se requirió menos combustible, economizando así las necesidades para la producción de azúcar. Esto representó un reto de ingeniería para los gremios de constructores en este campo, ya que su comprobación se basaba en la prueba y el error. Si bien existieron reglas empíricas que ayudaron a entender de un modo generalizado el comportamiento de las estructuras esbeltas de mampostería de cerámica y se empezaba a experimentar con la línea de presiones en el funcionamiento mecánico en los arcos del mismo sistema constructivo, no hubo una especialización estrictamente estructural dedicada exclusivamente a las chimeneas. Como se menciona en el subcapítulo 2.5, actualmente se está revalorizando estos elementos con un carácter patrimonial, pero aún son pocos los archivos que presentan un cálculo estructural que muestre la mecánica del elemento en base a su geometría y sistema constructivo.

Sin embargo, la evolución de esta industria no solo transformó la arquitectura de la hacienda azucarera, también se vio reflejada en el paisaje urbano y rural; evidencia de ello son las grandes extensiones de monocultivo de caña de azúcar, la ingeniería hidráulica desarrollada en los acueductos que dotaban de agua a las haciendas al mismo tiempo que ayudaba a la molienda, y los chacuacos de gran altura que aún se logran ver desde la carretera por sus grandes alturas. Finalmente podemos concluir que las transformaciones dadas en el desarrollo tecnológico de la industria azucarera en el estado de Morelos se relacionan directamente con la geometría y estructura de los chacuacos, así como también la disposición de los espacios de producción. El estudio de reglas empíricas utilizadas para el dimensionamiento de los elementos estructurales de mampostería de tabique de gran esbeltez nos muestra que su uso permitió la construcción de chacuacos de alturas considerables en Morelos.

Bibliografía

- Aguilar Civera, Inmaculada (2011a). *Arquitectura Industrial, testimonio de la era de la industrialización*, Cátedra Demetrio Ribes. Universidad de Valencia UVEG-FGV. España.
- Aguilar Civera, Inmaculada (2011b). *Arquitectura industrial: características básicas. Criterios para la valoración del patrimonio arquitectónico industrial*, X Congreso Internacional de la AEHE 8, 9 y 10 de septiembre, Universidad Pablo de Olavide Carmona, Sevilla, Institución Académica: Cátedra Demetrio Ribes UVEG-FGV, Universidad de Valencia. España. Recuperado de <http://www.aehe.es/wp-content/uploads/2011/09/Arquitectura-industrial-caracteristicas-b%20b%C3%A1sicas.pdf>
- Ávila Sánchez, Héctor (2001). *La agricultura y la industria en la estructuración territorial de Morelos*, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Cuernavaca. México.
- Crespo, Horacio (2006). *El Azúcar en América Latina y el Caribe. Cambio tecnológico, trabajo, mercado mundial y economía azucarera. Perspectiva Histórica y problemas Culturales*, Senado de la Republica, México.
- Díaz, César & Gumá, Ramon (1999). *Patología. Diagnostico y Recuperación de Chimeneas Industriales de Fábrica de Ladrillo Cerámico. Informes de la construcción*, vol. 51, No. 464. España. Recuperado de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/871/954>
- Estrada Cajigal, Sergio, Scharrer Tanm, Beatriz, Toussaint, Alfonso, Von Mentz, Brigida (1996). *Haciendas de Morelos*, Instituto de cultura del estado de Morelos, Cuernavaca. México.
- Fernández García, Marta (2000). *Ensayo Reglas, Normas y Leyes en la Conservación del Patrimonio Edificado*, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Florido Castro, Amara M. (2006). *Cuatro Chimeneas con Historia en Gran Canaria, XVII Coloquio de historia canario-americano*. Cabildo Insular de Gran Canaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España.

- Guerra Pestonit, Rosa A. (2012). *Bóvedas y Contrarresto del Colegio de Nuestra Señora de la Antigua de Monforte de Lemos, Geometría, Construcción y Mecánica* (Tesis de Maestría), Departamento de Estructuras de Edificación. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Hernández, Francisco, del Carmen Valencia, Toledo José & Hernández Hermilio (2013). El sector cañero en Nayarit desde una perspectiva organizacional y ambiental. Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso. España. Recuperado de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1333/1333.pdf>.
- Huerta, Santiago (2004). *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Instituto Juan de Herrera, ETSM, Madrid. España.
- Huerta, Santiago (2016). La ciencia de la construcción medieval. 2º Congreso Internacional de Historia de la Construcción Luso-Brasileña, Porto, 14-16 septiembre, Vol 1. Centro de Estudios de Arquitectura y Urbanismo. Portugal. Recuperado de <http://oa.upm.es/45327/>
- Instituto Politécnico Nacional, Once TV México, series Haciendas de México (2011). Recuperado de <http://oncetv-ipn.net/haciendas/hacienbibliografia.ht>
- Ivorra, Salvador (2014). Old Industrial Masonry Chimneys: Repairing & Maintenance. SACH2014-9 th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions F. Peña & M. Chávez (eds.). Mexico.
- Jiménez Guzmán, Lucero (1986). La Industria Cañero-Azucarera en México (Estado de Morelos), Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional Multidisciplinario UAEM. Cuernavaca. México.
- Kusuhara, Ikuo (2008). *La arquitectura de Haciendas Mexicanas y el clima* (Tesis de Doctorado), Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Ledesma Gallegos Laura. (2011). Materiales y sistemas constructivos en dos fundaciones mendicantes de las faldas del Popocatepetl. Boletín De Monumentos Históricos , Tercera Época, Núm. 23 . INHA. México. Recuperado de <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/boletinmonumentos/article/view/2175>

- López Patiño Gracia, Martínez Boquera, Arturo de Mazarredo Aznar, Luis. (2011). Chimeneas industriales de ladrillo helicoidales. Sociedad Española de Historia de la Construcción. Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Instituto Juan de Herrera. Madrid. Recuperado de [http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC_7%20\(75\).pdf](http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC_7%20(75).pdf)
- Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Viento (2008). Comisión Federal de Electricidad. Instituto de Investigaciones Electricas. México.
- Meli, Roberto (1998). *Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos*. Fundación ICA. México.
- Monterrubio, Antonio Lorenzo (2007). Las Haciendas Pulqueras de México. Coordinación de Estudios de Posgrado, Programa de Posgrado en Arquitectura: UNAM, Facultad de Arquitectura, Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado. UNAM. México. Recuperado de <http://www.posgrado.unam.mx/es/las-haciendas-pulqueras-de-mexico>
- Morales Mújica, Paulina & Villa Avendaño, Auribel (2013). Patrimonio Industrial Un Nuevo Territorio, Foro Abierto. Bitácora No. 12, Universidad Nacional Autónoma de México. México. Recuperado de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/bitacora/article/view/26343>
- Ortíz Sanz, Joseph (1787). Los diez libros de Archîtectura de M. Vitruvio Polión. De orden superior. En Madrid en la Imrenta Real. España.
- Rendón Garcini, Ricardo (1994). Haciendas de México. Fomento Cultural Banamex. México.
- Ribes, Demetrio (2013). Arquitectura Industrial testimonio de la era de la Industrialización, La inmaculada Aguilera Civera, Universidad de Valencia. España.
- Rojas Echeverri, Joaquín Emilio (2005). Problemas Patológicos Presentados en Fachadas de Ladrillo a la Vista Tipo Catalán en la Ciudad de Medellín. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Arquitectura Escuela de Construcción Medellín. Colombia.
- Salazar González, Guadalupe (2006). Espacios para la Producción: Obispado de Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura. Morelia, Michoacán, México.

Coedición con: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Hábitat, Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología. México.

Sert & Le Corbusier (1933). Carta de Atenas, Congreso Internacional de Arquitectura Moderna. Grecia.

Scharrer Tanm, Beatriz (1997). Azúcar y Trabajo, Instituto de Cultura del estado de Morelos, CIESAS. México.

Toussaint, Alfonso (2010). Haciendas en Morelos, Instituto de Cultura del estado de Morelos, Cuernavaca. México.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2010). Invertir en la diversidad cultural y el dialogo intercultural. Francia.

Villasante Sánchez, Esteban (1995). Mampostería Y Construcción. Editorial Trillas, S.A. de C.V. México.

Von Mentz, Brígida (1991). Atlihuayan, Ingenio de Azúcar, Yautepec, Morelos. Atlihuayan en la Historia. Atlihuayan Centro de Convivencia, A.C. México.

Anexo 1 Procedimiento para calcular V_D

De acuerdo con el Manual de Obras Civiles, Diseño por viento (MOCV, 2008), el valor de los factores de la ecuación anterior serán los siguientes:

1) La velocidad regional del viento (V_R) en Cuautla es de 119 km/h para un periodo de retorno de 50 años (estructuras del grupo B) y de 130 km/h para un periodo de retorno de 200 años (estructuras del grupo A) (MOCV, 2008: tabla C.1).

2) El terreno es categoría 2 si consideramos que los chacuacos generalmente están en terrenos abiertos, prácticamente planos, sin obstrucciones; en tal caso $F_T = 1.0$ (MOCV, 2008: tabla 4.2.4).

3) El factor de exposición F_{rz} se obtiene con alguna de las siguientes fórmulas, donde z es la altura por encima del terreno natural a la que se quiere conocer la velocidad de diseño; a es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura; y d es la altura gradiente:

$$F_{rz} = c \quad \text{si } z \leq 10$$

$$F_{rz} = c \left(\frac{z}{10} \right)^a \quad \text{si } 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = c \left(\frac{\delta}{10} \right)^a \quad \text{si } z \geq \delta$$

De la tabla 4.2.3 del MOCV (2008) tenemos que para terrenos de categoría 2, $a = 0.128$, $d = 315$ m y $c = 1.0$, por tanto el valor de F_{rz} es el siguiente:

Para el tramo de chimenea menor de 10 m habrá una distribución de presión constante:

$$F_{zr} = 1 \quad \text{para} \quad z \leq 10 \text{ m}$$

Para el tramo de chimenea mayor que 10 m la velocidad del viento no es uniforme en toda su altura y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$F_{rz} = 1\left(\frac{z}{10}\right)^{0.128} = (0.745)(z^{0.128})$$

Anexo 2 Vocabulario

Acueducto: canal de mampostería de piedra elevado por una sucesión de arcos.

Alambique: recipiente metálico que se utilizaba para la destilación de las mieles finales de la caña produciendo aguardiente

Bagazo: residuo material que queda después de extraer el jugo de la caña de azúcar.

Bombas: cucharones grandes con el que se meneaba el guarapo mientras estaba a fuego directo y se pasaba de una paila a otra.

Canoas: recipiente de madera en el cual se trasportaba el guarapo hacia el cuarto de calderas.

Cárcamo: espacio entre dos muros paralelos que sostenía el eje de la rueda hidráulica y caía el agua sobre ella.

Chacuaco: chimenea industrial.

Chiringuirito: bebida alcohólica proveniente de las mieles residuales de la caña de azúcar, ahora conocido como aguardiente.

Formas: recipientes de barro en los cuales se escurría y secaba las mieles obtenidas de la caña de azúcar.

Galerías: almacenes de grandes dimensiones.

Zangarrillos: también conocido como trapiche.

Trapiches: maquinaria rudimentaria que servir para moler la calla de azúcar, posteriormente se le llamo de igual manera al espacio arquitectónico en el que se realizaba esta tarea.

Guarapo: jugo extraído de la caña de azúcar

Herido: merced o desvió de agua que solo era utilizada para activar la rueda hidráulica, el agua se regresaba al rio.

Melaza: miel obtenía del jugo de la caña de azúcar mediante la aplicación de fuego directo.

Pailas: cazos de cobre donde se hervía el guarapo.

Porrones: recipiente de barro de forma esférica y cuello largo en el que se depositaban los jugos de la caña.

Resfriadero: Recipiente de cobre donde se enfriaba la meladura después de su proceso de concentración en la casa de calderas.

Trapiches: maquinaria rudimentaria que sirve para moler la caña de azúcar, posteriormente se le llamó de igual manera al espacio arquitectónico en el que se realizaba esta tarea.

Zangarrillos: también conocidos como trapiche.

Anexo 3 Registro de daños de los chacuacos

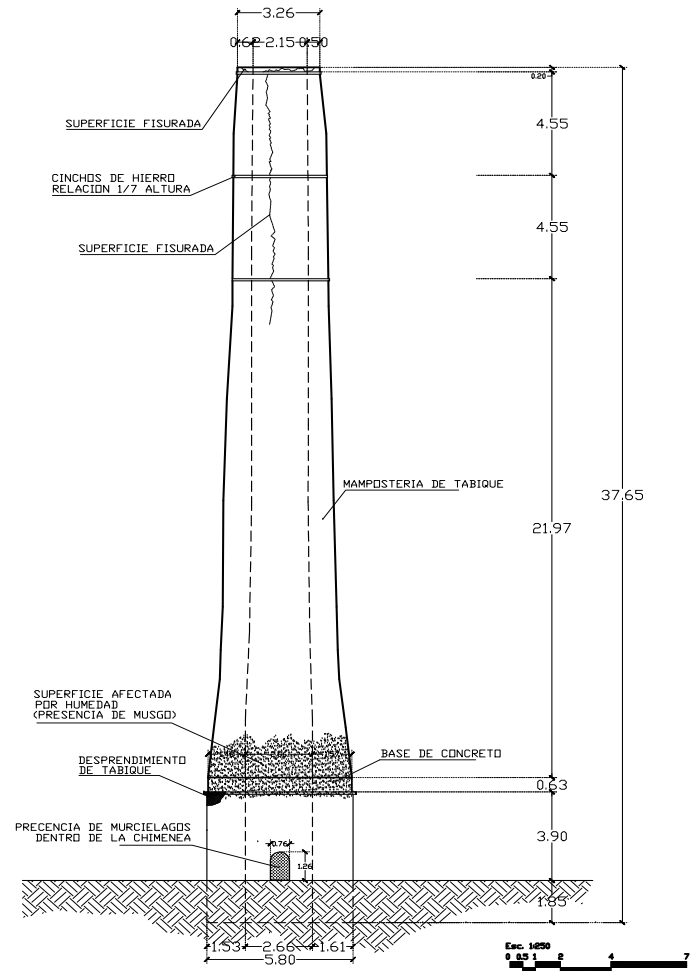
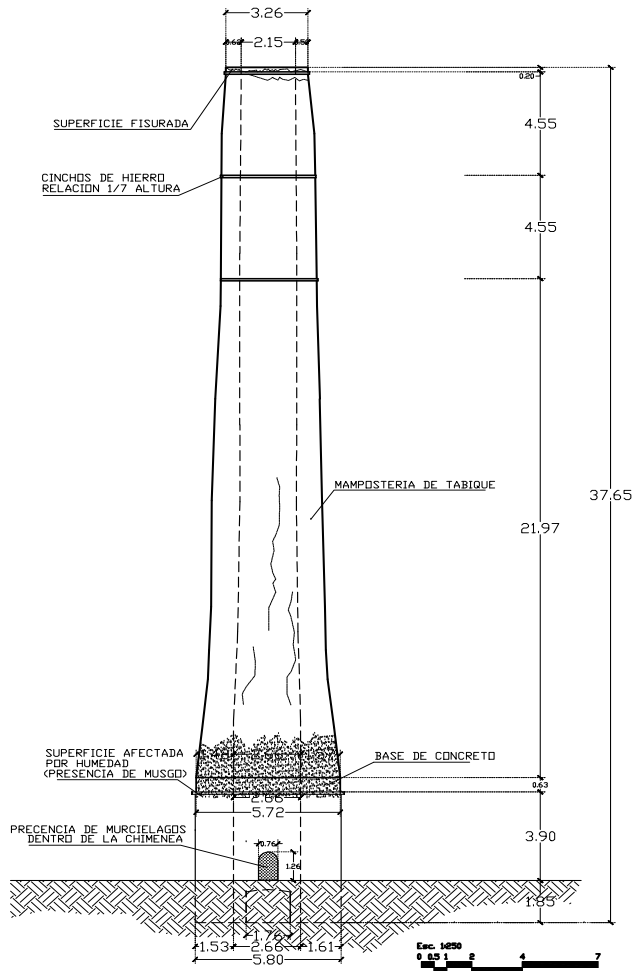
Características estructurales de la región

Zonificación Geotécnica: el relieve del municipio de Cuautla está conformado principalmente de rocas ígneas provenientes de antiguos episodios eruptivos del volcán Popocatepetl y pequeños volcanes de sus alrededores.

Regionalización sísmica: el municipio de Cuautla se cataloga dentro de la clasificación B (zona II), se considera zona intermedia, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

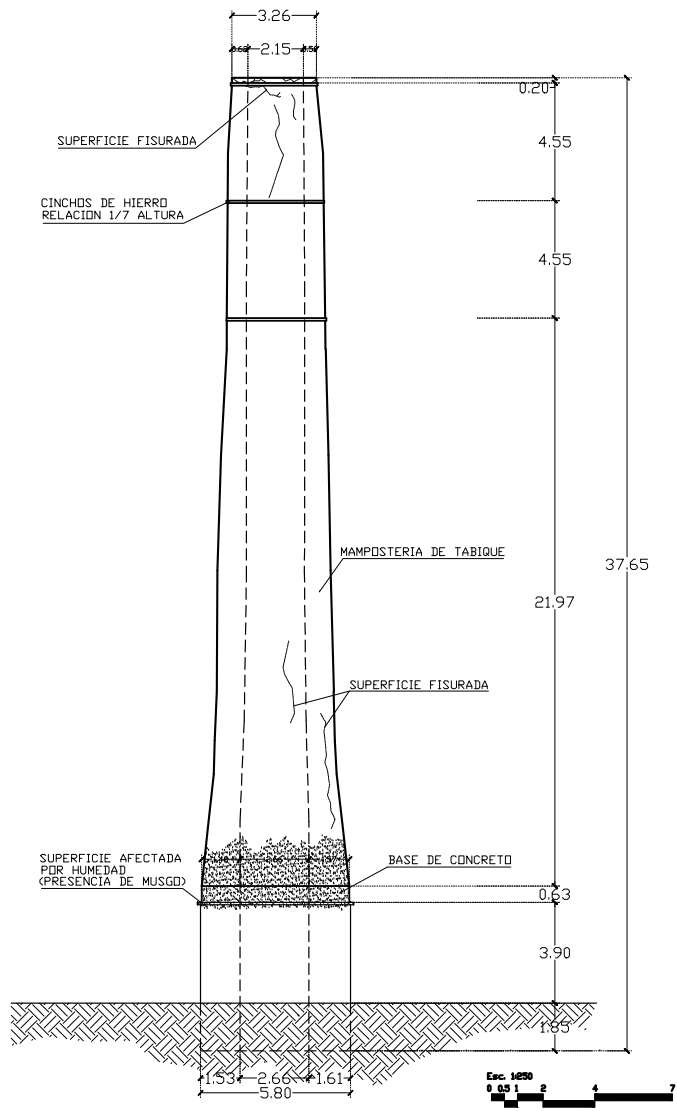
Grupo de la edificación: Este tipo de edificio está considerado en el grupo A, de acuerdo al reglamento de construcción, dentro del artículo 174. En donde establece que las construcciones cuya falla estructural podría causar la pérdida de un número elevado de vidas se consideran dentro de este grupo.

Apoyos: El sistema constructivo utilizado en este chacuaco se basa en muros de mampostería de ladrillo. En la construcción de este elemento fue necesario desarrollar una técnica ejemplar de este sistema, en donde se logra la estabilidad estructural a pesar de las grandes alturas. La estética en este elemento es aportada por los aparejos utilizados en los diferentes elementos del chacuaco; el fuste tiene un aparejo a canto o sogá, en la base tiene un aparejo inglés y las cornisas están formadas a un aparejo a tizón.

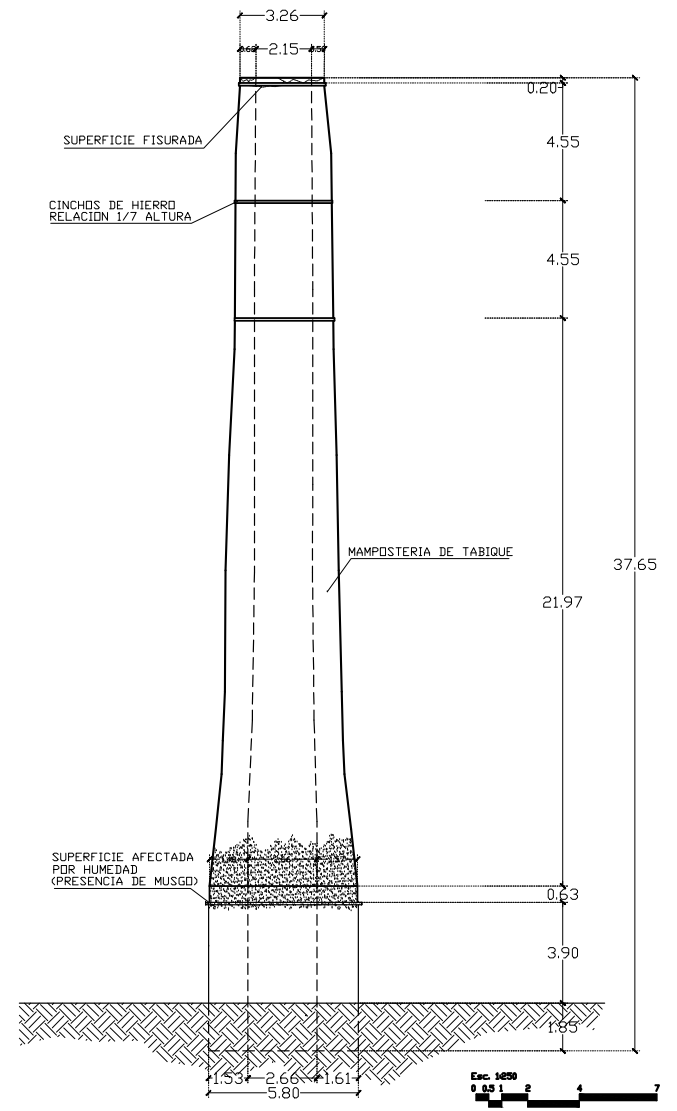


FACHADA B-A EN EJE 1
Figura 40. 1 Levantamiento de daños del chacuaco El Hospital

FACHADA 2-1 EN EJE B

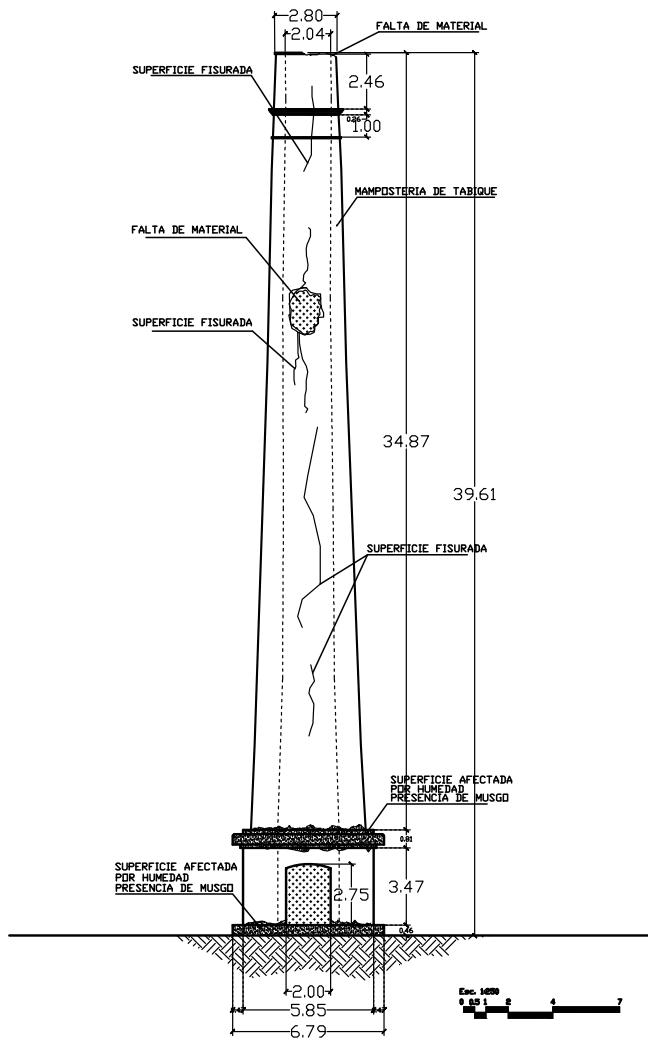


FACHADA A-B EN EJE 2

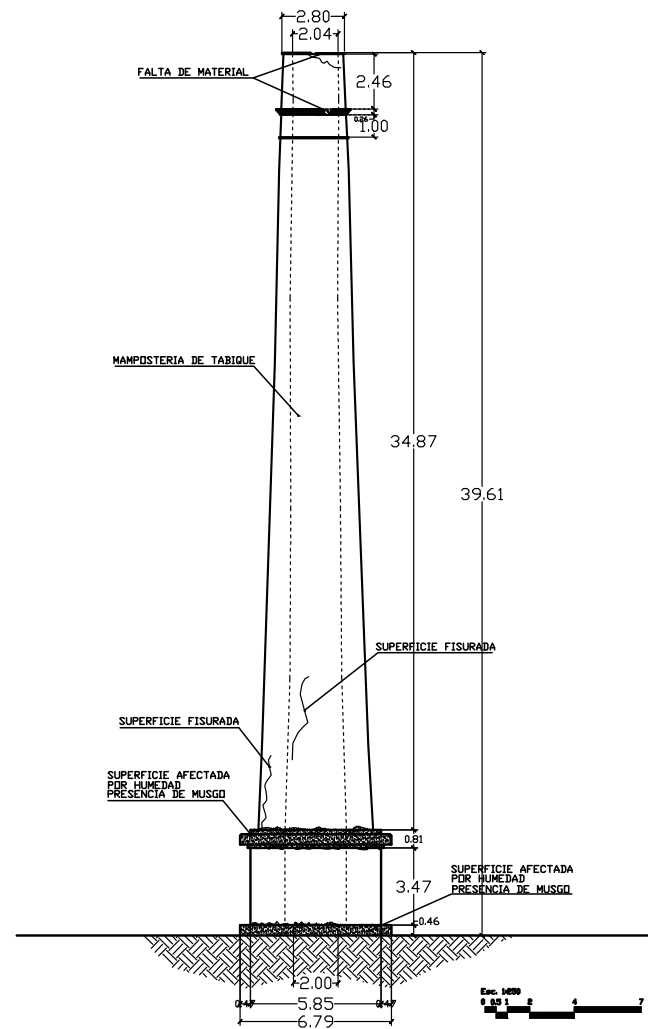


FACHADA 1-2 EN EJE A

Figura 40.2 Levantamiento de daños del chacuaco El Hospital

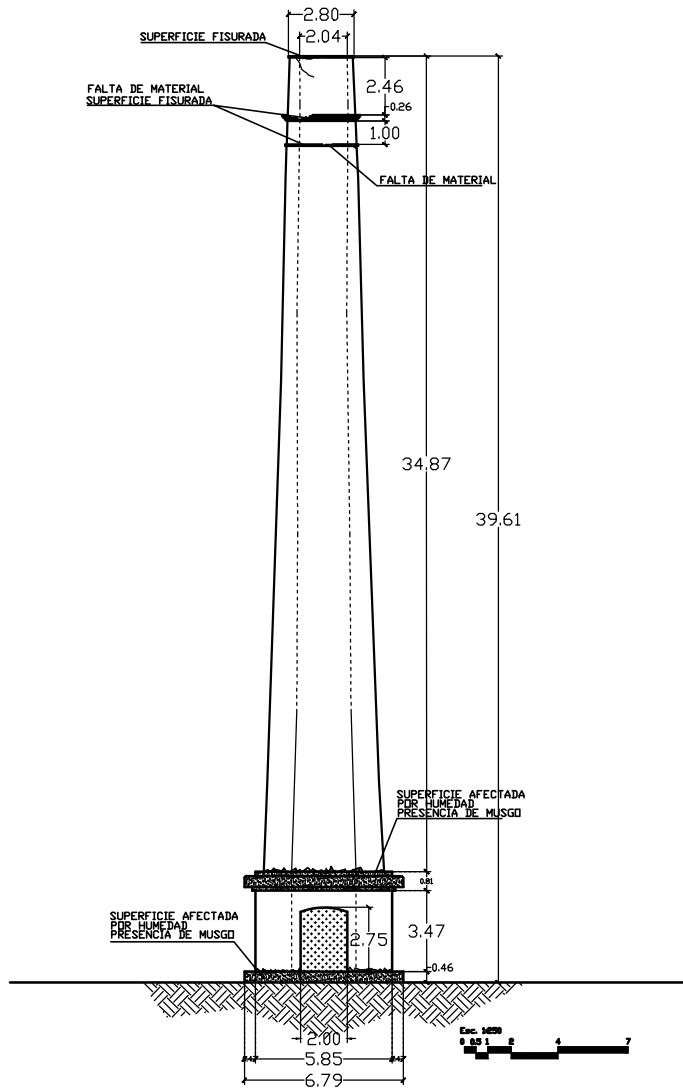


FACHADA B-A EJE 1

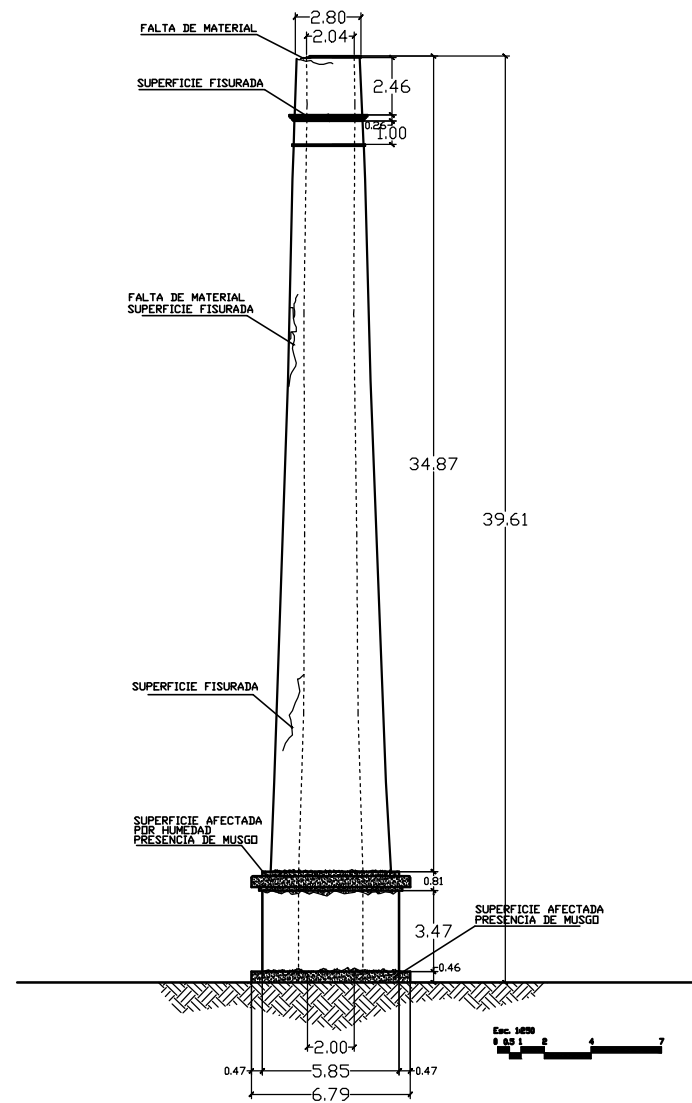


FACHADA 2-1 EJE B

Figura 41.1 Levantamiento de daños del chacuaco Chinameca

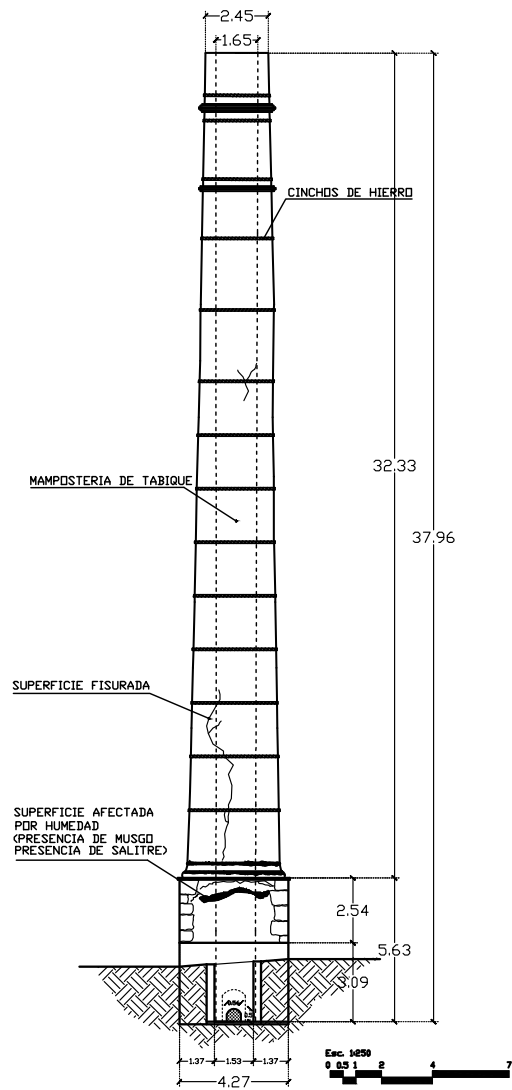


FACHADA A-B EJE 2

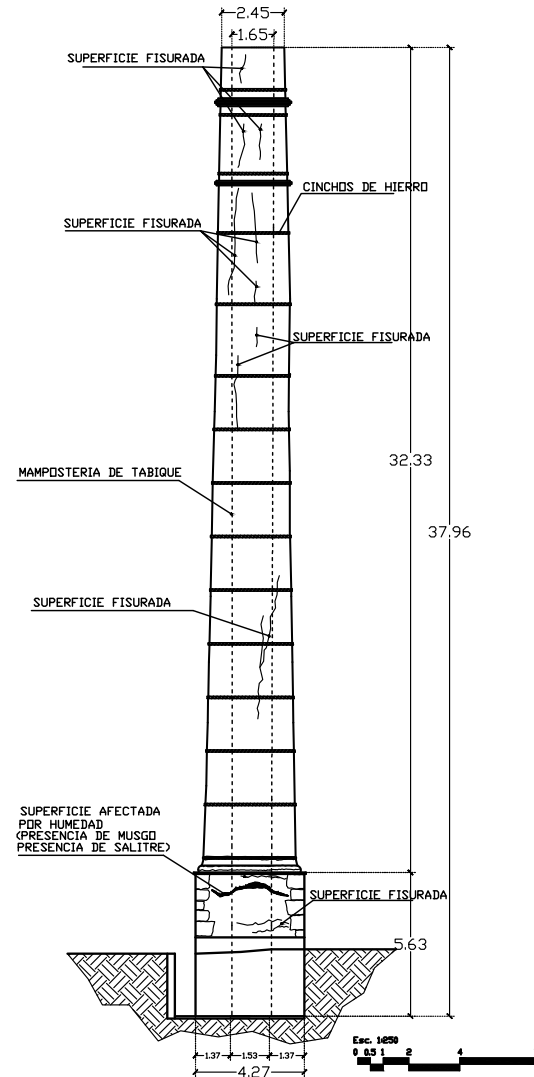


FACHADA 1-2 EJE A

Figura 41.2 Levantamiento de daños del chacuaco Chinameca

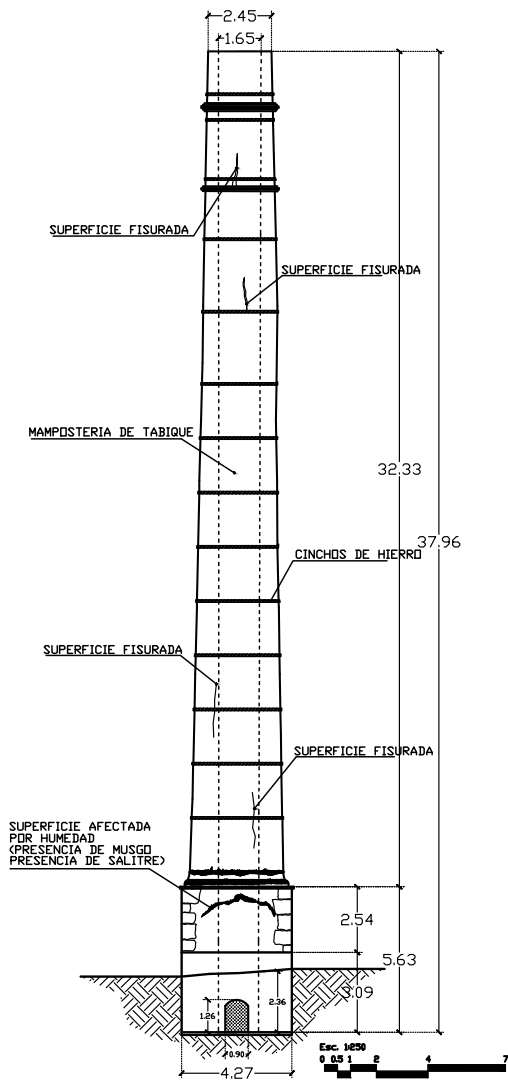


FACHADA A-B EN EJE 2

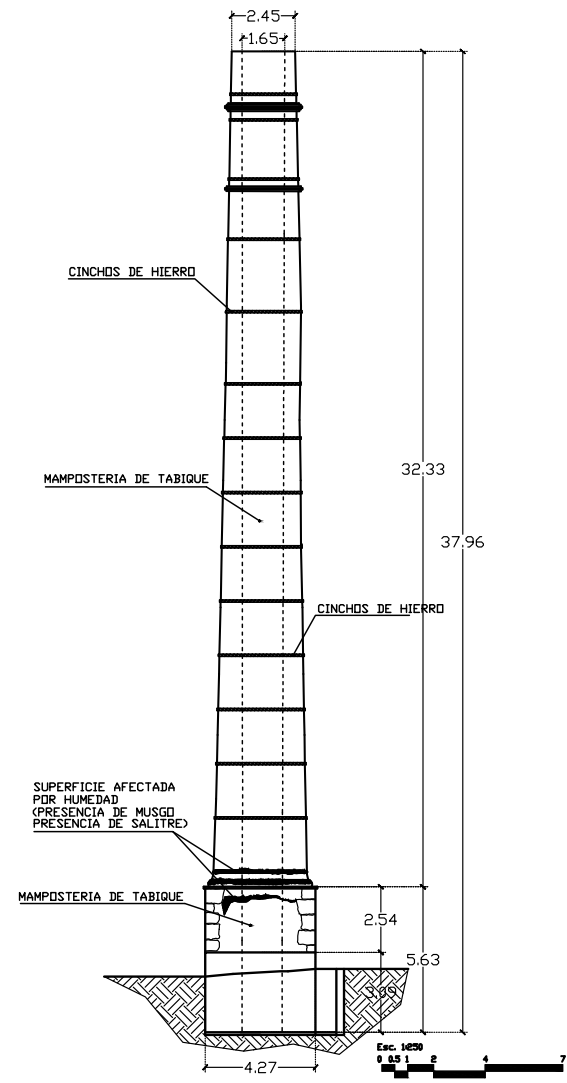


FACHADA 1-2 EN EJE B

Figura 42 .1 Levantamiento de daños del chacuaco Atlihuayan

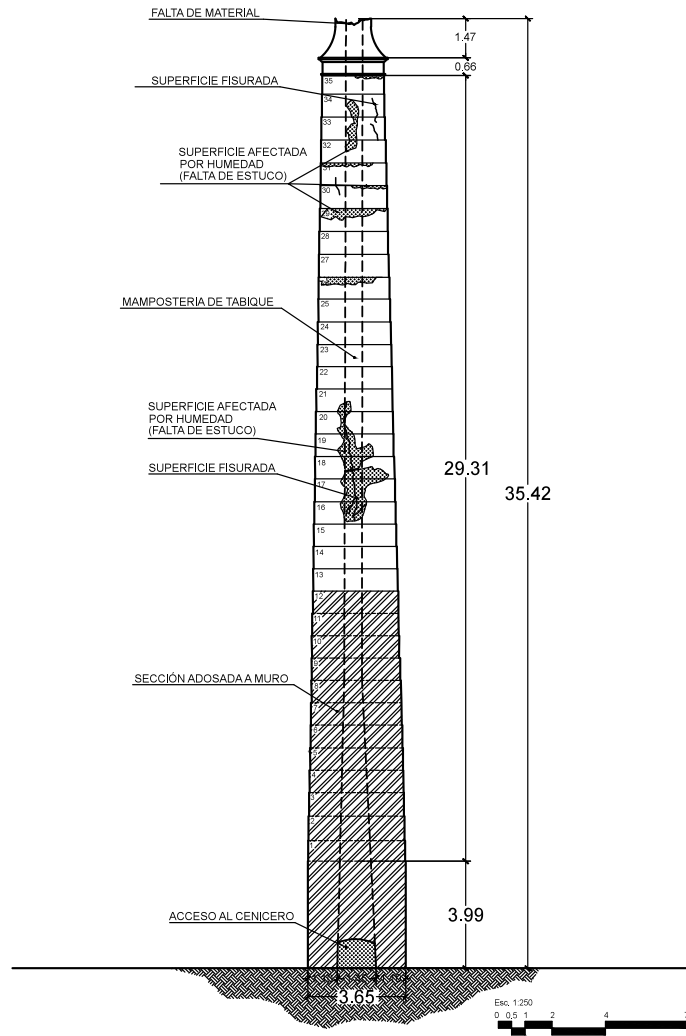


FACHADA A-B EN EJE 1

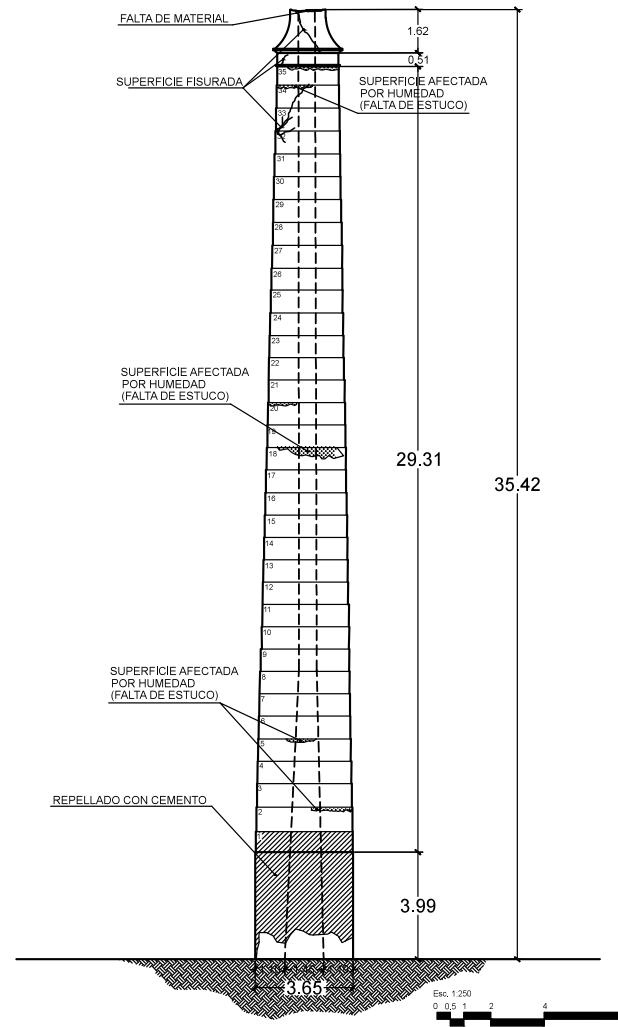


FACHADA 1-2 EN EJE A

Figura 42.2 Levantamiento de daños del chacuaco Atlihuayan

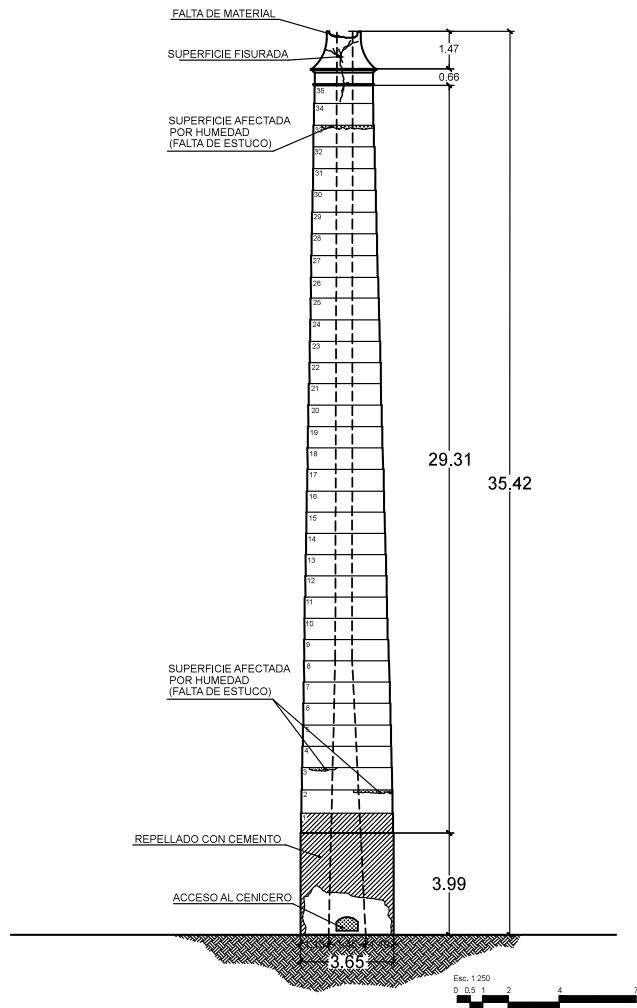


FACHADA B-A EJE 1

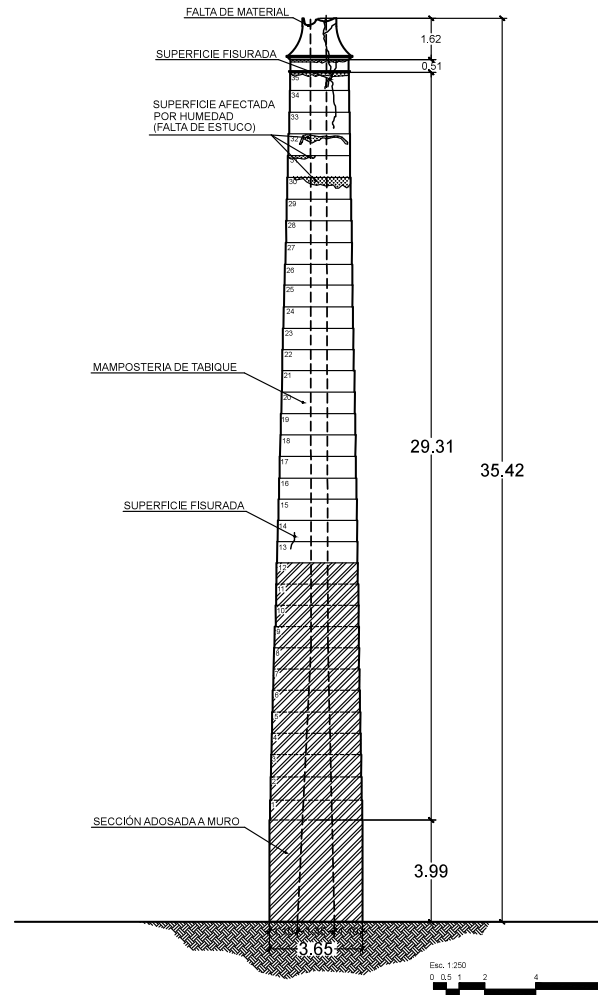


FACHADA 2-1 EJE B

Figura 43.1 Levantamiento de daños del chacuaco Cuahuixtla



FACHADA A-B EJE 2



FACHADA 1-2 EJE A

Figura 43.2 Levantamiento de daños del chacuaco Cuahuixtla



FACULTAD DE ARQUITECTURA
Maestría en Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio

Jefatura del Programa Educativo de la Maestría en
Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio

DR. ALFONSO VALENZUELA AGUILERA
COORDINADOR ACADÉMICO DE LA MAESTRÍA EN
ESTUDIOS TERRITORIALES, PAISAJE Y PATRIMONIO
P r e s e n t e.

HAGO CONSTAR QUE EL TRABAJO TITULADO:

"Evaluación del chacuco de los hacendados azucareros de
Morelos: Cuatro casos de estudio en la región oriente"

Elaborado por: Arq. Adriana Uribe Angeles

Constituye tema de tesis para que mediante el examen, sea acreedor a recibir el Grado de:
Maestro en el área de: Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio.

OBJETIVOS LOGRADOS EN EL DESARROLLO DEL TEMA

- Relaciono los cambios del chacuco con el avance de la producción azucarera
- Identifico el perfeccionamiento del sistema estructural del chacuco con su capacidad
para resistir las acciones más comunes, como el viento.

ALCANCES Y CLARIDAD DE EXPRESIÓN EN EL CONTENIDO:

El trabajo está ordenado y es congruente con los objetivos e hipótesis. Demuestra que
la transformación de los chacucos corresponde a la evaluación de los parámetros fabriles.

Motivos por los cuales doy mi VOTO APROBATORIO, autorizando la impresión de tesis, para
que pueda sustentar la réplica y examen correspondiente.

Cuernavaca, Morelos, a 11 de septiembre del 2018.

ATENTAMENTE


Dra. Natalia García Gómez

(Nombre y firma del responsable de emitir el voto aprobatorio)



Maestría en Estudios Territoriales Paisaje y Patrimonio

FACULTAD DE ARQUITECTURA
Maestría en Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio

Jefatura del Programa Educativo de la Maestría en Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio

DR. ALFONSO VALENZUELA AGUILERA
COORDINADOR ACADÉMICO DE LA MAESTRÍA EN ESTUDIOS TERRITORIALES, PAISAJE Y PATRIMONIO
Presente.

HAGO CONSTAR QUE EL TRABAJO TITULADO:

"Evaluación del desarrollo de las haciendas azucareras de Morelos: cuatro casos de estudio en la región oriente".

Elaborado por: Arq. Adriana Uribe Angeles

Constituye tema de tesis para que mediante el examen, sea acreedor a recibir el Grado de: Maestro en el área de: Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio.

OBJETIVOS LOGRADOS EN EL DESARROLLO DEL TEMA

Los objetivos del programa de tesis se han alcanzado de forma clara y analítica

ALCANCES Y CLARIDAD DE EXPRESIÓN EN EL CONTENIDO:

Lo que es este estudio de tesis claro y se ha logrado los objetivos propuestos

Motivos por los cuales doy mi VOTO APROBATORIO, autorizando la impresión de tesis, para que pueda sustentar la réplica y examen correspondiente.

Cuernavaca, Morelos, a 5 de 05 del 2018.

ATENTAMENTE

Dra. Patricia Granziere
(Nombre y firma del responsable de emitir el voto aprobatorio)



FACULTAD DE ARQUITECTURA
Maestría en Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio

Jefatura del Programa Educativo de la Maestría en
Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio

DR. ALFONSO VALENZUELA AGUILERA
COORDINADOR ACADÉMICO DE LA MAESTRÍA EN
ESTUDIOS TERRITORIALES, PAISAJE Y PATRIMONIO
Presente.

HAGO CONSTAR QUE EL TRABAJO TITULADO:

"Evaluación del choque de los haciendas azucareras de
Morelos: cuatro casos de estudio en la región oriente".

Elaborado por: Arq. Adriana Uribe Angeles

Constituye tema de tesis para que mediante el examen, sea acreedor a recibir el Grado de:
Maestro en el área de: Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio.

OBJETIVOS LOGRADOS EN EL DESARROLLO DEL TEMA

- La tesis cumple con los objetivos planteados y los
desarrolla plenamente.

- Por otro lado, los temas señalados son tratados con
claridad.

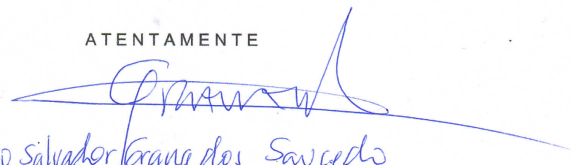
ALCANCES Y CLARIDAD DE EXPRESIÓN EN EL CONTENIDO:

La estudiante expone con claridad su hipótesis y respuestas.

Motivos por los cuales doy mi VOTO APROBATORIO, autorizando la impresión de tesis, para
que pueda sustentar la réplica y examen correspondiente.

Cuernavaca, Morelos, a 5 de sep del 2018.

ATENTAMENTE


Francisco Salvador Francisco Saucedo
(Nombre y firma del responsable de emitir el voto aprobatorio)



FACULTAD DE ARQUITECTURA
Maestría en Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio

Jefatura del Programa Educativo de la Maestría en
Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio

DR. ALFONSO VALENZUELA AGUILERA
COORDINADOR ACADÉMICO DE LA MAESTRÍA EN
ESTUDIOS TERRITORIALES, PAISAJE Y PATRIMONIO
Presente.

HAGO CONSTAR QUE EL TRABAJO TITULADO:

"Evolución del chacuaco de las haciendas azucareras de
Morelos: cuatro casos de estudio en la región oriental"

Elaborado por: Adriana Uribe Angeles

Constituye tema de tesis para que mediante el examen, sea acreedor a recibir el
Grado de: Maestro en el área de: Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio.

OBJETIVOS LOGRADOS EN EL DESARROLLO DEL TEMA

Acercamiento aceptable a los objetivos planteados.

ALCANCES Y CLARIDAD DE EXPRESIÓN EN EL CONTENIDO:

Suficiente y aceptable.

Motivos por los cuales doy mi VOTO APROBATORIO, autorizando la impresión de
tesis, para que pueda sustentar la réplica y examen correspondiente.

Cuernavaca, Morelos, a 21 de noviembre de 2018.

ATENTAMENTE

Dra. Ma. Guadalupe Medina Márquez
(Nombre y firma del responsable de emitir el voto aprobatorio)

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, 1er. Piso Edificio 19. Cubículo 04
maestriaetpp@uaem.mx





FACULTAD DE ARQUITECTURA
Maestría en Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio

Jefatura del Programa Educativo de la Maestría en
Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio

DR. ALFONSO VALENZUELA AGUILERA
COORDINADOR ACADÉMICO DE LA MAESTRÍA EN
ESTUDIOS TERRITORIALES, PAISAJE Y PATRIMONIO
Presente.

HAGO CONSTAR QUE EL TRABAJO TITULADO:

Evaluación del desarrollo de las haciendas azucareras de Morelos: cuatro casos de estudio en la región oriente.

Elaborado por: *Adriana Uribe Angeles*

Constituye tema de tesis para que mediante el examen, sea acreedor a recibir el Grado de: Maestro en el área de: Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio.

OBJETIVOS LOGRADOS EN EL DESARROLLO DEL TEMA

El estudio de las estructuras patrimoniales, como base para impulsar su protección y mantenimiento, son parte de la principal aportación.

ALCANCES Y CLARIDAD DE EXPRESIÓN EN EL CONTENIDO:

Se presenta un trabajo en un estudio completo en términos de su desarrollo metodológico y análisis.

Motivos por los cuales doy mi VOTO APROBATORIO, autorizando la impresión de tesis, para que pueda sustentar la réplica y examen correspondiente.

Cuernavaca, Morelos, a 10 de Septiembre de 2018

ATENTAMENTE

Alfonso Valenzuela Aguilera
(Nombre y firma del responsable de emitir el voto aprobatorio)

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, 1er. Piso Edificio 19. Cubículo 04
maestriaetpp@uaem.mx

UA
EM

Una universidad de excelencia

RECTORIA
2017-2018

