



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE ARQUITECTURA



MAESTRÍA EN CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO EDIFICADO

ALTERNATIVAS DEL USO DE LA CAL
EN LA RESTAURACIÓN DE MONUMENTOS HISTÓRICOS

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN RESTAURACIÓN DEL PATRIMONIO EDIFICADO QUE PRESENTA:

ARQ. JOSAFAT JIMÉNEZ ORTEGA

ASESORES DE TESIS

M. en Arq. Alejandro Enrique Benítez Barranco

Dr. Moisés Morales Arizmendi

M. en Arq. Carmina Fernández de Lara Aguilar



SEPTIEMBRE DEL 2014



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE ARQUITECTURA**

MAESTRÍA EN CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO EDIFICADO

**ALTERNATIVAS DEL USO DE LA CAL
EN LA RESTAURACIÓN DE MONUMENTOS HISTÓRICOS**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN RESTAURACIÓN DEL PATRIMONIO EDIFICADO QUE PRESENTA:

ARQ. JOSAFAT JIMÉNEZ ORTEGA

ASESORES DE TESIS

M. en Arq. Alejandro Enrique Benítez Barranco

Dr. Moisés Morales Arizmendi

M. en Arq. Carmina Fernández de Lara Aguilar

SEPTIEMBRE DEL 2014



ÍNDICE

Agradecimientos.
Poema dedicado a la Cal.
Introducción.
Antecedentes.
Planteamiento del Problema.
Justificación.
Objetivos.
Hipótesis.

CAPÍTULO 1.- LA CAL. CARACTERÍSTICAS Y USOS.

- 1.1 Sus Propiedades Naturales.
 - 1.1.1.- Intrínsecas
 - 1.1.2.-Extrínseca
- 1.2.- Diferentes usos de la CAL.
 - 1.2.1.- Rama de los Alimentos.
 - 1.2.2.- Rama Industrial.
 - 1.2.3.- Rama de la Construcción.
- 1.3.- La Cal en la Restauración.
 - 1.3.1.- Propiedades en su utilización como mortero y estucos a base de cal-arena.
 - 1.3.2.- Pruebas a la Compresión Simple en morteros cal-arena.
 - 1.3.3.- Rendimientos y Costos de mortero a base de cal- arena.
 - 1.3.4.- La cal para la elaboración de Impermeabilización, Pintura y Pasta a base de Marmolina.

CAPÍTULO 2.- LA CAL. BREVE HISTORIA DE SU USO

- 2.1.- La cal en la historia de la construcción.
 - 2.1.1.- Antecedentes a nivel Mundial.
 - 2.1.2.- Antecedentes en México.

2.1.2.1 En Puebla

CAPÍTULO 3.- LA CAL EN LA CONSTRUCCIÓN. SUS CUALIDADES.

- 3.1.- En Sistemas Constructivos.
 - 3.1.1.- Cimentación, Muros y Losas.
- 3.2.- Recubrimiento
 - 3.2.1.- Repellado y Aplanado
 - 3.2.2.-Impermeabilizante
- 3.3.- Acabado
 - 3.3.1 Pintura
 - 3.3.2 Ornamentación

CAPÍTULO 4.- LA CAL EN LA CONSERVACIÓN DE MONUMENTOS. SU APLICACIÓN

- 4.1.- Concepto de Monumento.
 - 4.1.1.- Disposiciones y normas para su intervención
- 4.2.- Casos prácticos en Monumentos Históricos
 - 4.2.1 Templo de Cuacnopalan en Palmar de Bravo.
 - 4.2.2 Patio de Azulejos en la Ciudad de Puebla.
 - 4.2.3 Constancia Mexicana.
 - 4.2.4. Templo de Mexicaltizngo; San Pedro Cholula.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA



AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo está dedicado en primera instancia a Dios y a mis Padres:

C.P. C. Mireya Ortega Escudero.

C.P. Josafat Jiménez Dumas.

Que gracias a sus consejos y recomendaciones me impulsaron para estudiar un Posgrado de Maestría en Arquitectura; para mí crecimiento profesional y por la insistencia de nunca claudicar a pesar de los malos tiempos y el de superarse en la vida.

Con un cariño especial a la Arq. Sanlee López Sandoval por su apoyo moral incondicional y a la confianza que me brindo para terminar este trabajo que sin su ayuda no hubiera sido posible y a las desveladas interminables.

Así también al Arq. e Ing. Jorge Luis Barrón Villaverde por sus consejos e insistencia para que se cesara este trabajo como un cierre de ciclo de vida profesional.

De igual forma a mis tutores de tesis Mtra. Carmina Carmona y Mtro. Enrique Benítez Barranco por su apoyo y confianza que sin su ayuda y colaboración no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

"Si he logrado ver más lejos, ha sido porque he subido a hombros de gigantes".

Autor: Sir Isaac Newton.



“POEMA DEDICADO A LA CAL”

“...se conjuraba al viento y al fuego para que naciera la mujer blanca...”

**Autor: Hernando Ruiz de Alarcón
(1629)**





INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los problemas que presenta la Restauración de bienes inmuebles reconocidos como patrimoniales en nuestro país, son las malas intervenciones que se llevan a cabo, sin importar del siglo que sean (XVI, XVII, XVIII, XIX o XX). El desconocimiento que priva acerca de los materiales y sistemas constructivos de fábrica de la obra arquitectónica que se interviene, ha propiciado malas ejecuciones de trabajos de intervención, sean estos Restauración, Conservación y Mantenimiento. Esta situación se generaliza y es propiciada tanto como las dependencias gubernamentales que intervienen, ingenieros, arquitectos, constructores, contratistas y propietarios de los Inmuebles, y hasta especialistas en restauración por la falta de conocimiento de las características de los materiales que se van a intervenir, así como la incorrecta ejecución de los sistemas constructivos que se deben emplear, que llegan incluso a poner en riesgo el patrimonio edificado que se está interviniendo. Cabe señalar, que a pesar de existir opciones claras sobre como intervenir un bien patrimonial a través de la instancia oficial encargada de su conservación y protección como lo es el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) a partir de normas y especificaciones generales para aplicar en los edificios históricos, o el Manual de Mantenimientos de Monumentos Históricos, elaborado por la Dirección de Monumentos Históricos, se siguen cometiendo errores.

Ante esta situación, un tema que interesa destacar en el trabajo de tesis, es la importancia del uso de la **cal viva** en los trabajos de restauración de monumentos históricos. Debemos mencionar que el contratista y/o constructor en ocasiones desconoce los beneficios del uso de este material dentro de la obra, ya que tiene diversas aplicaciones y no solamente sirve como conglomerante, minimizando su utilidad, sobre la base que existen otros materiales, y que éste forma parte del pasado. Un pasado que refiere a su producción en viejas caleras de hornos de piedra de mampostería, y de tabique que dentro del estado de Puebla se localizaban en municipios como Amozoc de Mota, Tepeaca de Rodríguez, e Izucar de Matamoros, por mencionar algunos ejemplos de estos. Poco está presente, que se trata de un material básico en todo proceso constructivo y de acabados desde antes de la llegada de los españoles, y que aún en nuestros días, el material se sigue usando con profusión. De ahí la recomendación que el INAH realiza, al momento de intervenir un bien patrimonial.

La **cal** es un elemento caustico que proviene de la calcinación de la piedra caliza, sus cualidades intrínsecas y extrínsecas, han permitido su uso en actividades relacionadas en el ramo Industrial, en el alimenticio, y en el de la construcción, que es el que interesa destacar. Se conoce que en las obras históricas, este material se ha empleado invariablemente en los sistema constructivo, ya sea como material para asentar la piedra en mamposterías, o el tabique en muros de carga, para junteo de mamposteos, y muros, en aplanados de muros, impermeabilización de azoteas, y como argamasas para elementos decorativos. Este hecho obliga a utilizar los mismos materiales de fábrica al momento de intervenir el bien patrimonial, tal como lo establece la Carta de Atenas, la Carta de Venecia y las disposiciones mexicanas en la materia, garantizando la compatibilidad de materiales a pesar de su antigüedad, y la recuperación de los bienes patrimoniales.

Es bajo esta premisa, que el presente trabajo de tesis, está formulado a partir de cuatro capítulos, en el Primer Capítulo se establece las Características de la Cal, y su uso, con el fin de contar con referentes sobre este importante material; así mismo se describen las propiedades



del material cuando se usa como mortero, se incluyen pruebas de compresión simples a través de ensayos de cubos muestreo de mortero a base de CAL-ARENA en laboratorio Laser de la Empresa Calidra de Oriente; además de rendimientos y costos para establecer sus ventajas extrínsecas. En el segundo capítulo se realiza un marco histórico del uso de la Cal, reconociendo su uso en contextos históricos concretos. En tercer Capítulo se presenta el empleo de la cal en sistemas constructivos, ornamentación, y acabado. Por último y no menos importante es el Capítulo cuatro, donde se comentara sobre casos prácticos donde se ha utilizado la cal de alta pureza¹, en aplicaciones de integración de aplanados, junteo, rejunteos, y pinturas a base de cal en cuatro obras de restauración de monumentos históricos, no sin antes establecer que es un monumento, y las disposiciones que la instancia oficial determina para su intervención.

Termina el trabajo con unas Conclusiones, a manera de recapitulación del desarrollo del trabajo, y el logro de los objetivos planteados. Se acompaña además con una Bibliografía básica que sustentó el trabajo de tesis, con el fin de que sirva de referencia para otros trabajos como el que aquí se desarrolla.

¹ Cal de alta pureza se refiere a la que contiene un alto porcentaje de $Ca(OH)_2$ superior a lo establecido por la Norma Mexicana NMX-C-003 –ONCCE-2010; como ejemplo de algunos productos que podemos encontrar en el mercado de la construcción son los productos de Piracal y Quimex 95 parte de la familia de Calidra de Oriente en el estado de Puebla – Tlaxcala.



ANTECEDENTES.

No es poca la información relacionada con el uso de la Cal en Monumentos Históricos, destacando sus ventajas al ser un material de fábrica de muchos de los bienes patrimoniales en nuestro país. Generalmente contamos con documentos, estudios, especificaciones y procedimientos para intervenir el patrimonio edificado de manera integral, es decir, considerando todos los materiales, la antigua Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), a través de la Dirección General de Obras de Sitios y Monumentos del Patrimonio Cultural, planteo el documento titulado Normas de Restauración², donde se señalaban las especificaciones de Restauración para llevarse a cabo en los monumentos. Esa misma dependencia un año después emite el texto Especificaciones Generales de Restauración³, a manera de concentrado del documento anterior.

Otro trabajo de la misma índole es el de Ricardo Prado Núñez⁴, quien habla de la protección y conservación de edificios artísticos e históricos, desglosa ampliamente procedimientos de restauración y características de los materiales, y es a partir de este planteamiento, que en el capítulo 7 del texto Procedimiento de Restauración y Materiales, puntualiza acerca de la Cal. Un texto más sobre el tema, es La Cal: Investigación, Patrimonio y Restauración de la Universidad de Sevilla, documento de recién publicación (2014), donde se establece que la cal es un material de construcción de uso ancestral, que aún hoy en día se emplea; y que dentro del patrimonio arquitectónico, es uno de los materiales básicos.



Un trabajo más es el de María Isabel Kanan⁵, sobre Argamasa de Cal en la restauración de fortificaciones, donde la autora, a partir de las fortificaciones brasileñas, lleva a cabo el proyecto de intervención a partir del uso de la cal. También encontramos el trabajo Uso de la Cal en Edificaciones de Tierra de Mauricio Benjamín Jiménez⁶, donde se establece su uso, función, ciclo de la cal, calcinado, y otros aspectos más de su aplicación. También en eventos sobre Conservación y Restauración se han planteado algunos trabajos acerca de la Cal y su uso, como el Taller Internacional de Conservación y Restauración de Arquitectura de Tierra, que se llevó a cabo en Arizona del 17 al 21 de Noviembre del 2008.

Los trabajos expuestos sobre la Cal, son una pequeña muestra del interés por dar a conocer las ventajas del material, promover sus cualidades y usos; tal como se propone hacer en el trabajo de tesis, a partir de problemáticas concretas en edificios patrimoniales en Puebla.

²Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. “Normas de Restauración”, México, 1980, SAHOP

³Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. “Especificaciones Generales de Restauración”, México, 1981, SAHOP

⁴cfr. Prado Núñez, Ricardo. “Procedimientos y Restauración y Materiales”, México, 2000, Trillas

⁵cfr. Kanan, María Isabel. “Argamasa de cal en la restauración de fortificaciones” en Revista Apuntes, Vol. 19, Núm. 1, pp- 8-21

⁶cfr. Jiménez Ramírez, Mauricio Benjamín. “Uso de la Cal en Edificaciones de Tierra” en Seminario Taller de Pintura Mural, México, Escuela de Conservación y Restauración de Occidente.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

México se destaca a nivel mundial por tener una gran riqueza Patrimonial de vestigios arqueológicos, históricos y artísticos. Incluso, algunos de los monumentos históricos aisladamente, o agrupados en zonas de monumentos, o centros históricos, han permitido que la **UNESCO** (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), los reconozca e incluya en la Lista Indicativa de Patrimonio Mundial, como el caso de las ciudades de Campeche, Ciudad de México, Guanajuato, Morelia, Oaxaca, y Puebla por mencionar solo algunas.



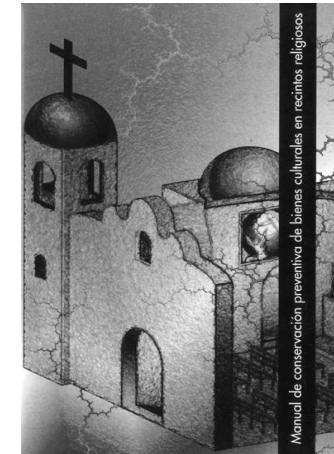
Ciudades Mexicanas inscritas en la Lista de Patrimonio Mundial

La restauración en México no es una actividad reciente, existen innumerables documentos históricos que hablan de acciones que el gobierno o particulares realizan para conservar los bienes materiales arquitectónicos; pero sin duda, es en la década de los 80' del siglo pasado, que desde el gobierno federal se inician acciones concretas en la salvaguarda y protección del patrimonio material de México. En esa época, se inician y concluyen el inventario de la propiedad de inmuebles federales, y con ello, fue posible tener un diagnóstico de las condiciones de los mismos, y poder intervenirlos; es así que:



“Las acciones de conservación y restauración de Bienes Inmuebles del Dominio Público Federal de alto valor histórico monumental se atendieron a través de tres programas: el de obras directas, en inmuebles que por su alto valor el cultural justifican la intervención; el de obras con ayuda de la comunidad, en que la Secretaría proporciona la dirección técnica y equipo de construcción, y las comunidades aportan la mano de obra y materiales de la región y, por último, el programa de emergencia que se ocupó fundamentalmente de los inmuebles dañados por sismos”⁷.

A partir de ese momento, será necesario establecer procedimientos y especificaciones acerca de los diferentes tipos de intervenciones, los materiales a emplear, y los procedimientos de ejecución, surgiendo así innumerables manuales. A más de treinta años de estos documentos, con un patrimonio que se incrementa a partir del reconocimiento social, y con eventualidades naturales que lo alteran, el Instituto Nacional de Antropología e Historia ha emitido algunas disposiciones para intervenirlos, como el Manual de Mantenimiento de Monumentos Históricos⁸, Normas y Especificaciones Generales para aplicar en edificios históricos dañados por el sismo del 15 de junio⁹, y el “Manual de Conservación Preventiva de bienes culturales en recintos religiosos”¹⁰, por mencionar solo algunos. En cada uno de ellos se plantean materiales, técnicas y procedimientos para atender diferentes deterioros en los inmuebles patrimoniales.



Esto supondría, que las acciones sobre el patrimonio edificado fuera de manera profesional y acorde a los lineamientos de la Carta de Atenas, la Carta de Venecia y la legislación mexicana, sin embargo podemos observar intervenciones que hacen caso omiso a todas estas disposiciones, atentando contra la integridad de los bienes culturales a partir de una mala intervención o del uso de materiales no compatibles con los de fábrica. Si la tendencia sigue siendo la misma, en poco tiempo y considerando los diferentes agentes de deterioro que se presentan, desde los humanos, hasta los medio ambientales, se terminará por perder el patrimonio.

Cabe señalar que las intervenciones no han sido solo por parte de instancias oficiales, sino también por constructores, particulares y hasta restauradores. En el caso de la ciudad de Puebla incluso, el Honorable Ayuntamiento de Puebla, en el Periodo Gubernamental 2011-2014, realizó trabajos de Imagen Urbana en fachadas de Monumentos Históricos representativos de la Ciudad, acción a la que le llamo

⁷Velázquez Carmona, Manuel. “Libro Desarrollo Urbano en México. Restauración. Monumentos Nacionales”, p. 11.

⁸cfr. INAH. “Manual de Mantenimiento de Monumentos Históricos”, México, 1988, Instituto Nacional de Antropología e Historia/SEP.

⁹cfr. INAH. “Normas y Especificaciones Generales para aplicar en edificios históricos dañados por el sismo del 15 de junio”, México, 1999, CONACULTA/INAH

¹⁰cfr. INAH. Manual de Conservación Preventiva de bienes culturales en recintos religiosos”, México, 2001, CONACULTA/INAH



'Rebosamiento de fachadas', que el significado del término, alude derramamiento, desbordamiento e inundación, entre otras acepciones, por lo que no resulta adecuado para las acciones que se realizaron, y que consistía en la integración de aplanados y pintura en fachadas de los diferentes inmuebles arquitectónicos, con el objetivo de mejorar la imagen urbana de la ciudad, sin atender de raíz los problemas que vienen presentando los inmuebles.



Vista de la intervención de integración de aplanados con mortero de cemento en fachada principal.
Inmueble Ubicado en la calle 7 Oriente N° 108.
Fuente: J. Jiménez Ortega



Cabe señalar, que los trabajos fueron asignados a contratistas, que además de no ser especialistas en restauración, tampoco cuentan con el personal de esa disciplina, lo que origino trabajos poco profesionales, ignorando los manuales y especificaciones sobre acabados en fachadas de edificios históricos, incluso y a pesar de no ser compatibles, se decide utilizar mortero de cemento, dando muestra de des conocimiento de cómo trabajan los materiales de fábrica y ante la falta de profesionalismo al atentar contra la integridad del edificio; es así que estos trabajos lejos de ser restauraciones que contribuyan a la conservación del bien cultural edificado, terminan siendo un factor de destrucción en algunos casos lenta y paulatina. Es así la gravedad de la ignorancia y la indiferencia que existe de los responsables que realizan los trabajos, de las instituciones que contratan y no supervisan, y de las autoridades como el INAH, encargadas de velar por conservar el patrimonio.



Vista del deterioro en aplanado. Inmueble ubicado en la calle 5 sur esquina 5 poniente
Fuente: J. Jiménez Ortega



Vista del deterioro en aplanado. Inmueble ubicado en la calle 5 poniente N° 314
Fuente: J. Jiménez Ortega



Vista del deterioro en aplanado. Inmueble ubicado en la calle 16 de Septiembre esquina 15 oriente
Fuente: J. Jiménez Ortega



JUSTIFICACIÓN.

El trabajo de tesis “Alternativas del Uso de la Cal en la Restauración de Monumentos Históricos”, es un tema que se justifica a partir de los siguientes criterios:

- 1) *Conveniencia*, ya que permite dar a conocer las características intrínsecas y extrínsecas de este material, se podrá valorar su uso en la intervención de monumentos históricos, considerando que generalmente el material está presente desde la fábrica del bien inmueble; lo que puede contribuir a lograr mejores resultados cuando se interviene, garantizando la conservación de los monumentos. Así mismo, se conocerá que la CAL es un material homogéneo con los materiales que constituyen el mamposteado de un muro limosnero.
- 2) *Implicaciones prácticas*. Considerando que se propone realizar ensayos de los morteros de base cal – arena, a las pruebas a la compresión como lo estipula las Normas complementarias de los morteros, con la finalidad de verificar la evolución de la resistencia de los morteros de cal arena, lo que permite ver el comportamiento a través del tiempo, y donde gana resistencia a la compresión. Además de promover sus cualidades como Endurecimiento, Rendimiento, y Precio.
- 3) *Relevancia Social*. A partir de que se dará una orientación a los que intervienen en los bienes patrimoniales a través de obras de restauración o conservación, los resultados que se obtengan del uso de la cal, permitirá que se conserve un patrimonio que se nos ha heredado y que tenemos el compromiso de heredar a las generaciones futuras. Las técnicas y los conocimientos sobre los materiales y sistemas constructivos tradicionales, nunca será un tema visto, ya que debemos recordar que cada caso es único.



OBJETIVOS.

General:

Establecer alternativas de uso de la Cal en la Restauración de Monumentos Históricos, a partir de conocer sus cualidades, características, y ventajas de su uso, contribuyendo a obtener mejores resultados al realizar intervenciones en edificios patrimoniales.

Particulares:

- Conocer y difundir las características Intrínsecas y Extrínsecas de la CAL
- Dar a conocer los diferentes usos de la Cal en la restauración de monumentos históricos, con el fin de promover su aplicación
- Realizar intervención con el procedimiento tradicional de la cal en monumentos históricos de diferentes siglos en Puebla, con el fin garantizar mejores resultados en las intervenciones.



HIPÓTESIS.

La cal es uno de los materiales presentes en la fábrica de las obras consideradas como patrimonio histórico o artístico por haberse erigido en los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX los primeros, y en el siglo XX los segundos. Este material, principal componente de morteros, se ha querido desplazar en los trabajos de restauración, argumentando su poca resistencia comparada con materiales como el cemento, lo mismo ha sucedido en la elaboración de aplanados, impermeabilizantes y elementos decorativos. La sustitución del material, se da más por falta de conocimientos sobre el mismo, que por conocimientos acerca de sus propiedades. De ahí que los procedimientos establecidos por la Ley Federal de Monumentos y Zonas Arqueológicas, Históricas y Artísticas y su Reglamento vigente, insistan en incluirlo, respetando con ello, la composición material de las obras patrimoniales que hay que conservar.

Es así, que al dar a conocer las propiedades, características, y beneficios del uso de la cal, se contribuye a garantizar los resultados de las intervenciones en el patrimonio edificado en particular, y en la conservación de monumentos históricos en general, coadyuvará a tomar conciencia sobre la importancia de respetar los materiales de fábrica, tal como se establece en el artículo 9 de la Carta de Venecia, donde se señala “La restauración es una operación que debe guardar un carácter excepcional. Tiene como fin conservar y revelar los valores estéticos e históricos del monumento, y se fundamenta en el respeto hacia los elementos antiguos”¹¹, lo que significa, que los materiales también son parte de esos elementos antiguos a conservar, o cuando menos sustituir por el mismo tipo de material, de esta forma habrá un reconocimiento a los materiales que dan forma a la obra, y no se limita a la obra misma.

¹¹ UNESCO, Carta de Venecia, PDF.



CAPÍTULO I.- LA CAL. CARACTERÍSTICAS Y USOS.

En este primer capítulo se plantea abordar las propiedades, usos, y aspectos de relevancia sobre la cal, permitiendo reconocer sus cualidades al momento de emplearlo en obras de restauración.

1.1.- Propiedades Naturales.

Antes de pasar con las propiedades naturales de la Cal, se hace necesario partir de la definición, la cual puede contribuir a empezar a conocer del material; es así que buscando algunas referencias, encontramos las siguientes:

En un significado académico general el diccionario de la lengua española define la palabra cal como “el óxido de calcio, sustancia alcalina de color blanco que al contacto con el agua, se hidrata o se apaga”¹², esta primera definición nos acerca a algunas cualidades del material como su color, y consistencia al contacto con el agua.

Otra definición sobre el material, a partir de la arquitectura, menciona que “la cal se hace de una piedra blanca y medio blanda que se calienta para que transforme en un terrón frágil”¹³, nuevamente estamos ante cualidades intrínsecas del material, donde el color, y consistencia, es lo que destaca.

Una acepción desde más especializada desde la química, señala que “la cal en su estado natural o materia prima es extraída de las minas o caleras y su composición química es CaCO_3 ; el cual se calienta en un horno y con el calor tiene una reacción que se descompone en $\text{CO}_2 + \text{CaO}$, el CaO (óxido de calcio), que es lo que realmente se conoce como cal viva y para apagarla hay que añadirle agua: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2$. Este es el hidróxido cálcico o cal apagada que al mezclarse con el CO_2 del aire hace una reacción que regenera la caliza de origen y ocasiona que adquiera dureza y resistencia¹⁴, sin duda es una definición más amplia, donde además de su composición química, aporta la forma de trabajarla, y los efectos al contacto con el agua y con el CO_2 .

El material no es de uso reciente, y eso se puede constatar en el libro Léxico de Alarifes de los siglos de Oro, donde encontramos referencias al término ‘cal’, así como algunos derivados de ésta como: calcina, calcinación, calera, calicanto, caliche, y lechada de cal entre otros. La definición establece:

“Cal. La piedra quemada convertida en blandos terrones que se desmorronan y vuelven polvo. Esta mezclada con la arena es la trabazón de las piedras en los edificios, cal viva la que se acaba de sacar del horno de la cal antes que se mate con el agua; es fuertísima en su calor y el mismo fuego. Calera, el horno donde se quema la cal. Obra de cal y canto la que firme

¹² www. Diccionario de la Real Academia Española “accesado 16 de Julio 2014”.

¹³ Van Lengen, Johan. “Manual del Arquitecto descalzo”, pág. 134.

¹⁴ Prado Núñez, Ricardo “Procedimientos de Restauración y Materiales”, pág. 78.



y de dura a diferencia de la que se haze de piedra y de barro o de otra materia, que no se haze buena travazón ni tiene fortaleza ni defensa. Calcina, cierta mixtura de cal y otros materiales de piedras menudas.

1526.- sag (1541) tabie aprueua por buena la cal: la que haze de piedra espessa fistulosa y llena agujeros como son los pedreñales de fuego.

1590.- juan Catón censorino desalada mucho la calcina que es hecha de diversas calidades o géneros de piedras de guijarros.

1636.- conquebra de sus instrumentos con error de sus calcinaciones.

1555.- y desta causa quando las piedras se sacan después de codizas de la calera no pueden responder al mismo peso que tenían quando las echaron en la hornaza.

1633.- Si harrares sobre tapias de tierra, después de bien picada la tapia, haras lechada de tanta tierra como yyeso.

1569.- Urrea mas los encaladores griegos vsando destas razones, no solo hacen obras firmes.¹⁵

Luego entonces, debemos establecer que es un material de color blanco, usado en las obras, y que hay que apagarla o hidratarla para usarla.

Ahora bien, dentro de la propiedades naturales de la CAL, debemos establecer que es un químico natural que se obtiene de un mineral que es una roca sedimentaria caliza que forma parte de la naturaleza, tiene un alto contenido de pureza como carbonato; su nombre químico es **Carbonato de Calcio**, y se trata de es un compuesto químico, cuya fórmula es CaCO_3 . Se trata de un compuesto **ternario**, nombre que se le da por estar compuesto por tres elementos o unidades, y que entra dentro de la categoría de las oxosales; es decir una sal oxácida, oxosal u oxisal es el producto de sustituir alguno, o todos, los hidrógenos de un oxácido por cationes metálicos).



IMAGEN 1: CARBONATO DE CALCIO.

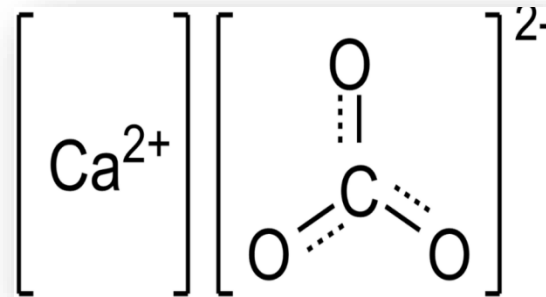


IMAGEN 2: FORMULA QUÍMICA COMPUESTO TERNARIO.

¹⁵ García Salinero, Fernando "Léxico de Alarifes de los siglos de oro", pág. 66.



Es importante mencionar, que se trata de un mineral abundante en la naturaleza, de ahí que se encuentre en todas partes del mundo, su presencia es en forma de rocas, formando cordilleras y en las costas arrecifes. Además, es el principal componente de conchas y esqueletos de muchos organismos como los moluscos o corales, incluso en la cascara del huevo se encuentra. Por otro lado, debemos señalar que es el componente principal de los siguientes minerales y rocas:

- Calcita, Aragonito, Caliza, Travertino y Mármol

En la República Mexicana se sabe que se puede encontrar en los estados del norte, bajo, centro y sur; hablando de una manera particular en el estado de Puebla, los municipios donde se ha detectado el material son: Amozoc, Acajete, Tepeaca, Cuautinchan, Tepexi de Rodríguez, Molcaxac y municipios pertenecientes a la mixteca poblana. Especialmente en Tepexi se puede observar los mantos rocosos con fósiles marinos, que formaron en algún tiempo parte del fondo marino, esto cuando los continentes no estaban separados y al mundo se le dominaba Pangea



IMAGEN 3: FÓSIL MARINO DE TLAYÚA EN TEPEXI DE RODRÍGUEZ.



IMAGEN 4: CONTINENTE DE PANGEA.

Un dato importante a destacar es que la Piedra Caliza se forma por sedimentación, es decir, que el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo de un río, lago, laguna o en el mar, es así que se forman lodos ricos en carbonato de calcio, y la compactación obtenida se realiza a través de miles de años. Mientras que el carbonato de calcio natural se forma de los restos de animales y vegetales, ya que estos organismos concentran altas reservas del mineral tomado de la atmósfera a partir del bióxido de carbono y calcio disueltos en el agua marina. Entre más pura sea la piedra caliza, mayor blancura tendrá el material y habrá mejores resultados al utilizarse en



un proceso industrial, alimenticio y en la construcción. Se han detectado piedras calizas con un noventa ocho, noventa y cinco, noventa grado de pureza química de carbonato de calcio en canteras de la república mexicana.



IMAGEN 5 Y 6: ALGUNOS FÓSILES MARINOS.

En cuanto a su composición física, el Carbonato de Calcio tiene la particularidad de presentar dos reacciones químicas, una al momento de calentar la piedra (cal viva), y otra al agregarle agua a la piedra calcinada (cal apagada), en ambos casos hay un proceso de cambio de la materia original, obteniendo componentes químicos que son los siguientes:

- **Oxido de calcio:** Es el resultado de la calcinación del carbonato de calcio (CaCO_3) a más de 1000°C , en esos momentos se realiza un proceso química que consiste en una reacción exotérmica (Se denomina **reacción exotérmica** a cualquier reacción química que desprenda energía, ya sea como luz o como calor de liberación de CO_2 , y como resultado final se obtiene óxido de calcio).
- **Hidróxido de calcio:** Se forma al agregarse agua al óxido de calcio o cal viva, para que una vez apagada (hidratada) se realiza el proceso químico $\text{Ca}(\text{OH})_2$, así, el Hidróxido de Calcio puede utilizarse con mayor facilidad; una vez expuesto en el medio ambiente el mismo hidróxido de calcio absorbe el CO_2 del medio ambiente convirtiéndolo nuevamente y con el paso del tiempo, en carbonato de calcio; habiendo

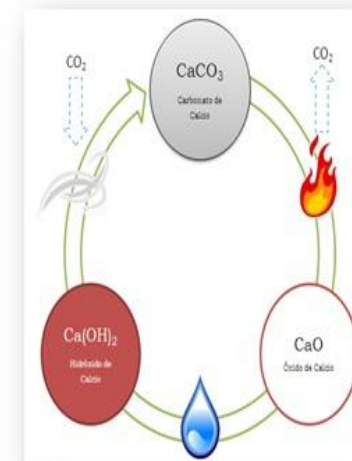


IMAGEN 7: SISTEMA CÍCLICO DE LA CAL.



un sistema cíclico.

1.1.1.- Intrínsecas.

Las propiedades Intrínsecas son las cualidades o características de cualquier muestra de una sustancia o material, independientemente del tamaño o forma, es decir que estas propiedades no cambian aunque entre en contacto con otros materiales. Dentro de sus propiedades intrínsecas del Hidróxido de calcio (cal apagada) encontramos las siguientes:

Densidad: Se reporta de 450 a 650 kg/m³; el valor típico encontrado (valor promedio) es de 560 Kg/m³.

Color: La mayoría de las cales son blancas, sin embargo si contiene impurezas (otras sales) su color tiende a ser grisáceo.

Calor Específico: El calor específico aumenta de 0.270 cal/g °C a 0 °C a 0.370 cal/g °C a 400 °C.

Potencial de Hidrógeno (p[H]): El p[H] de una solución saturada de Hidróxido de calcio a temperatura y presión estándar (25 C y 1 atm) es de 12.4.

Dureza: se encuentra entre 2 y 3 Mohs

Índice de Refracción: El Hidróxido de calcio es bi- refringente, lo cual indica que se encuentra en 1.574 a 1.545.

Olor: Tiene un olor ligero a tierra.

Solubilidad en agua: La solubilidad decrementa de 1.85 g/lit a 0°C a 1.28 g/lit a 50 °C y 0.71 g/lit a 100 °C.

Humedad: La humedad se presenta en 1.0% max.

Granulometría: En malla 200 el porcentaje que pasa es de 99.0% max.

1.1.2.-Extrínseca.

Cabe mencionar que las Propiedades extrínsecas, son las cualidades que no son características de la sustancia propiamente dicha, y están relacionadas con la cantidad de material que se mide. La cal hidratada de alta pureza se compone principalmente de hidróxido de calcio sin embargo contiene otras sales como: óxido de magnesio, óxido de fierro y aluminio, carbonatos y sílice, como se muestra en la siguiente tabla:

Características Químicas	Referencia		
Hidróxido de Calcio	Ca(OH) ₂	ASTM C-25	95.0 % min.
Oxido de Magnesio	MgO	ASTM C-25	0.5 % max.
Sílice	SiO ₂	ASTM C-25	0.5 % max.
Oxido de Fierro y Aluminio	Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	ASTM C-25	0.2 % max.
Carbonatos		ASTM C-25 LECO	3.0 % max.



Es así, que la CAL en su utilización como aglomerante o mortero para el ramo de la construcción, en fresco y endurecida presenta las siguientes características:

En Fresco ofrece:

Trabajabilidad: Con el material; esto refiere a la facilidad o dificultad para aplicar y extender la mezcla, siendo esto una combinación de consistencia, plasticidad, cohesión y adhesión del mortero.

Retención de Aire: Se trata de la capacidad del mortero de retener aire de manera intersticial, favoreciendo la trabajabilidad, adherencia y capacidad de soportar expansiones sin sufrir fracturas. El % de retención de aire, se encuentra especificado de acuerdo al tipo de mortero.

Retención de Agua/Aire. Es la capacidad de retener o liberar el agua contenida en el mortero, frente la absorción que presenten las unidades de mampostería, durante su aplicación

Mayor tiempo de fraguado. Tiempo que tarda un mortero en adquirir su resistencia inicial, se percibe cuando las mezclas pierden su estado plástico y aparentan tener una dureza relativamente alta.

En Endurecidas ofrece:

Adherencia. Es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie de la interface Mortero – Base. Es decir, la resistencia a despegar dos o más elementos unidos

Resistencia a la compresión. Es la fuerza que resiste un mortero al ser sometido a dos cargas en los ejes verticales.

Resistencia al corte. Fuerza que resiste un mortero al ser sometido a dos cargas en los ejes horizontales, también llamada fuerza de tracción.

Eflorescencia. Son manchas superficiales exteriores o abombamientos interiores de los revestimientos o muros, debidos a sales solubles que, arrastradas por el agua de amasado o de lluvia, que precipitan al evaporarse ésta.

Permeabilidad. Es la resistencia que presenta el material al paso del agua. Depende del grado de porosidad del material.

Durabilidad. Es la capacidad de una estructura para mantenerse estable en su apariencia original, a través del tiempo.



1.2.- Diferentes usos de la CAL

Actualmente la cal forma parte esencial dentro de la vida cotidiana del ser humano en sus actividades diarias, se considera un material primario para cubrir las necesidades básicas del hombre, es así que la cal está dirigida actualmente para el ramo de los Alimentos, ya que procesa reacciones químicas naturales al dar proteínas; en el ramo de la Industrial, por su cantidad de carbonato de calcio que ofrece, y que incluso expertos en el ramo industrial, afirman que no existe un material sustituto de la cal que brinde tantos beneficios con relación de sus propiedades y su costo; y por supuesto el ramo de la Construcción donde a lo largo de los siglos a demostrado su versatilidad y uso.

Cabe señalar que la ciencia y la tecnología han diversificado las aplicaciones de este producto natural, al grado de que en todo el mundo es reconocido como el “Químico Versátil”, gracias a su utilidad en distintos sectores que a continuación se puede observar en el siguiente gráfico, y que describe a continuación.



GRÁFICA 1: APLICACIONES DE LA CAL PARA EL USO HUMANO.





1.2.1.- Rama de los Alimentos.

En este ramo la cal se utiliza para el consumo humano generalmente su aplicación es para la producción alimenticia y las aplicaciones más convencionales son las siguientes:

Acuicultura	<p>El cultivo del camarón ha desarrollado un sector con altos beneficios económicos; se utiliza la cal con altos contenidos de calcio para el control de la materia orgánica en los estanques, evita la proliferación bacteriana y regula el PH del agua, disminuye la mortandad de la especie además de que aporta el calcio que el animal asimila regularmente para la formación de su caparazón, estos aspectos se ven reflejados en la apariencia de los camarones que se producen sanos y con un peso mayor.</p>	 <p>IMAGEN 8: CAL EN LA REPRODUCCIÓN DEL CAMARÓN.</p>
Agricultura	<p>Este es un sector básico para el desarrollo del país por lo que resulta de vital importancia el mantener la calidad de los suelos de cultivo; año con año los suelos se ven afectados por la presencia de lluvias acidas, usos desmedido de fertilizantes y agotamientos prematuro, lo que acidifica y empobrece en exceso.</p> <p>El encalado de suelos con cales hidratadas, dolomíticas o piedra caliza es de gran utilidad ya que neutraliza los compuestos ácidos, regenera el PH para lo que las plantas aprovechen los nutrientes, detiene la proliferación de algunos hongos y bacterias; la cal disminuye el hierro y aluminio elementos no deseados en el cultivo además aporta magnesio elemento esencial en las plantas para la producción de clorofila.</p>	 <p>IMAGEN 9: LA CAL EN LA PRODUCCIÓN DE LA AGRICULTURA.</p>



Nixtamalización:	<p>El maíz considerado como alimento básico en la dieta de los mexicanos, desde tiempos prehispánicos ha sido sometido al proceso que consiste en precocer el maíz en lechada de cal y dejarlo reposar para que el grano se ablande y fije el calcio de esta forma la cal hidratada resalta sus propiedades nutritivas y retarda su descomposición. Posteriormente el grano se enjuaga y se muele para su consumo en forma de masa bajo diferentes formas y platillos.</p>	 <p>IMAGEN 10: LA CAL EN LA COCIMIENTO DEL MAÍZ.</p>
Azúcar	<p>Durante el proceso de producción de la azúcar a partir de la caña, los ingenios buscan obtener el mayor provecho de la materia prima; el uso de la cal viva como alcalinizante y precipitante de impurezas minerales y orgánicas, permite clasificar y refinar el producto de manera más efectiva. Se utiliza también para el acondicionamiento de aguas n las calderas y la neutralización de vinazas, mismas que se aprovechan como fertilizantes de los cultivos.</p>	 <p>IMAGEN 11: LA CAL EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR.</p>



1.2.2.- Rama Industrial.

En cuanto a los derivados industriales, encontramos los siguientes:

- **PROCESOS QUÍMICOS:** La cal viva e hidratada participa en productos farmacéuticos como en pasta de dientes, el excipiente en medicinas, procesos y conservación de productos alimenticios como en lácteos, las harinas, aditivos para alimentos. También se utiliza en la fabricación de una amplia variedad de compuestos químicos utilizados como materias primas y productos de uso industrial como grasas, lubricantes, y aditivos plásticos por mencionar solo algunos.



IMAGEN 12: LA CAL EN EL PROCESO QUÍMICO.

➤ CURTIDURÍA	SIDERURGIA
El proceso de transformación de piel animal a cuero comprende varias etapas, la cal hidratada se utiliza para la remoción de piel y pelo, se desinfecta las pieles ayudando a la humectación, neutraliza la materia orgánica y ácidos residuales y conservación de estas.	La cal de alta pureza actúa como fundente del metal, facilitando la escorificación, ayuda a la protección de la cubierta refractaria, prolongando su vida útil del metal. Una de las empresas que utilizan la cal es Termiun Monterrey y Puebla, en la fabricación de varilla para construcción.



IMAGEN 13: LA CAL EN CURTIDURÍA.





IMAGEN 14: LA CAL EN SIDERURGIA.

- **INDUSTRIA DEL VIDRIO:** Ayuda a la fabricación de vidrio proporcionando mayor brillo, transparencia y resistencia. Las cales de alto calcio con bajos contenido de fierro y cromo permiten simplificar y mejorar el proceso con altos ahorros energéticos y aditivos.



IMAGEN 15: LA CAL EN LA INDUSTRIA DEL VIDRIO.



➤ INDUSTRIA DEL PAPEL	➤ INDUSTRIA DEL PETRÓLEO
<p>La transformación de materiales celulósicos y los diversos procesos de acabado, permiten la fabricación de una amplia variedad de tipos de papel con características específicas, su proceso es la obtención de pastas de celulosa a partir de la pulpa que es un agente, la cal como blanqueador y excelente filler promocionando una buena textura, color y brillo del papel.</p>	<p>La cal viva e hidratada tiene injerencia de forma directa en este rubro, ya que se utiliza en la refinación del petróleo, la estabilización de las arcillas y lubricación durante la perforación de pozos. También sirve para el fabricado de grasas lubricantes.</p>
 <p data-bbox="430 771 850 795">IMAGEN 16: LA CAL EN LA INDUSTRIA DEL PAPEL.</p>	 <p data-bbox="1270 803 1732 828">IMAGEN 17: LA CAL EN LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO.</p>

- **METALURGIA Y MINERÍA:** El uso de cales de alto calcio y bajos contenidos de sílice y aluminio para la concentración de minerales, proporcionan un adecuado control del PH y neutralizan los ácidos presentes logrando las condiciones propicias para este proceso.

IMAGEN 18: LA CAL EN LA METALURGIA Y MINERÍA.





- **TRATAMIENTO DE AGUAS:** La cal viva e hidratada es considerado el químico natural más efectivo ya que por su alta alcalinidad ajusta el PH y neutraliza los ácidos presentes, facilita la remoción y estabilización de los metales pesados gracias a que propicia la coagulación. Por su efecto biosida, desinfecta eliminando las bacterias o microorganismos existentes además que remueve el fosforo y amoniacos, valiosos nutrientes de la algas y con ello evita la proliferación.



IMAGEN 19: LA CAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS.

- **TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS:** La cal viva e hidratada tiene un papel importante ya que es vital para la transformación de los terrenos para confinamiento que requiere de la estabilización de sus bases y entre capas. Con la cal se evita la contaminación de suelos y mantos freáticos aledaños del relleno sanitario. La cal no interrumpe la biodegradación de la materia orgánica pero si impide la proliferación de organismos nocivos y el desprendimiento de olores fétidos.



IMAGEN 20: LA CAL EN EL TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS.



1.2.3.- Derivado de la Construcción.

La cal viva e hidratada es un material milenario, se ha utilizado desde hace más de 3,000 mil años, ha sido de vital importancia en la edificación en todas las civilizaciones del mundo desde la antigüedad, incluso en la edad de los metales se tiene el dato que la civilización cretense, utilizaba mortero a base de cal – arena, como aglutinante para el pegado o la unión de piezas de mamposteado, a partir de aquí se generalizó, y casi todas las civilizaciones de la humanidad lo han empleado, llegando su uso hasta nuestros días.

La industria de la Construcción es el sector donde se pueden apreciar las múltiples propiedades de la cal en todas sus formas, ya que la calidad de este material es el factor más importante para asegurar trabajos de gran durabilidad y resistencia. Su utilización esta diversificada en las siguientes actividades: en concreto, adobes estabilizados, bloques de vibro comprimidos, y estabilización de suelos, mismos que a continuación se detallan:

- **CONCRETO (CALCRETO):** El concreto elaborado con cal hidratada, cemento, arena y grava presenta mayor fluidez, protege al acero de refuerzo, incrementa la impermeabilización y reduce los costos. La cal hidratada hace más compacto al concreto debido a que sus partículas son más finas que las del cemento, por lo que rellena los vacíos dejados por este material, disminuye las eflorescencias y evita los agrietamientos, de igual forma ayuda a la estructura a soportar variaciones de temperatura. La cal hidratada mantiene húmeda por más tiempo la masa del concreto, aún en clima cálido o seco, por sus características de absorción de agua, propicia que el concreto alcance su mayor resistencia con la suficiente humedad para su fraguado, la plasticidad de la cal mantiene la mezcla íntima de los materiales, evitando su segregación.



IMAGEN 21: EL CALCRETO EN LA UTILIZACIÓN CON EL CONCRETO HIDRÁULICO.



➤ **ADOBES ESTABILIZADOS:** La tendencia a construir con materiales predominantes de la región como el barro (El barro o lodo es una mezcla semilíquida de agua y tierra compuesta por sedimentos, partículas de polvo y arcilla), ha permitido optimizar recursos.

Las construcciones con adobes estabilizados con cal hidratada son una opción que además de ser ecológica, proporciona beneficios como aislamientos térmicos, impermeabilidad y alta resistencia a los movimientos o vibraciones, creando estructuras más duraderas. La cal estabiliza la masa de arcilla del adobe, facilitando la correcta modelación de las piezas a presión, misma que es vital para la obtención del tamaño y forma deseados.



IMAGEN 22: LA CAL CON EL BARRO PARA REALIZAR PIEZAS DE ADOBES.



➤ **BLOQUES VIBRO COMPRIMIDOS:** Son elementos de forma sencilla que facilitan los trabajos de edificación, que en el ramo de la construcción son conocidos comúnmente como block prefabricado; estos bloques cuando se realizan y se les integra cal en la formulación de la bachata de cemento – cacahuatillo, se mejoran las propiedades mecánicas a largo plazo, se estabiliza el color, se facilita el desmolde y curado. Cabe señalar que los muros hechos con este material, presentan uniformidad, mayor impermeabilidad y buena apariencia.

IMAGEN 23: LA CAL PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES PREFABRICADOS.



➤ **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS:** La estabilización de suelos, permite la compactación permanente de los materiales arcillosos, base del terreno; con este sencillo proceso de reacciones químicas, se obtiene un incremento en su resistencia y capacidad de soporte, así como la disminución de la sensibilidad al agua, a los cambios de volúmenes constantes.

La estabilización de suelos no requiere de grandes adiciones de cal viva o apagada para lograr que el suelo obtenga resistencias más altas; por lo general las arcillas y tierras con alto grado de expansión que son estabilizadas con cal, forman una mezcla cementante natural, lo que permite

obtener en pocas horas una resistencia mayor a la del mismo suelo compactado sin estabilizar como el tepetate.

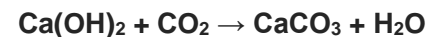


IMAGEN 24: LA CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.

1.3.- Las características de la Cal en la Restauración.

Considerando que la cal es el material primario que se utilizó para construir los más importantes monumentos arqueológicos, históricos y artísticos, al momento de intervenir dichos bienes materiales reconocidos como bienes patrimoniales a través de la conservación, restauración y/o mantenimiento, las disposiciones internacionales y nacionales señalan que se debe hacer uso de los materiales y procedimientos de fábrica, con el fin de garantizar la unidad constructiva, cuando esta se lleve a cabo.

Es así que vemos, como la cal ayuda a consolidar los estratos pictóricos sobre superficies de cal, es el vehículo perfecto en la reintegración cromática con los pigmentos inorgánicos sobre resanes de cal. Es esencial para la consolidación de oquedades, facilita la unión de fragmentos desprendidos, también resulta básica para la elaboración de mezcla de mortero, destinadas a resanar y a integrar juntas entre sillares de piedra o mampostería. Además, la cal es un buen cementante por su característica de **recarbonatación** (La **recarbonatación** es una reacción química en la que el **hidróxido de calcio** reacciona con el **dióxido de carbono** y forma **carbonato cálcico** insoluble formula química:





Tiene la propiedad de sellar las fisuras en estructuras evitando humedades, asimismo gracias a la elevada **alcalinidad** de su pasta, evita el crecimiento de vegetación e insectos que con el tiempo, daña la obra arquitectónica.



IMAGEN 25 Y 26: LA CAL YA SEA EN ESTUCO O EN MORTERO ES EL MATERIAL PRIMARIO EN LA RESTAURACIÓN.

Es importante mencionar, que la cal al igual que todos los materiales, esta normado y debe de cumplir con ciertas características en el mercado para su venta y distribución, es así que la siguiente norma mexicana “**NMX-C-003-ONNCCE-2010**”, refiere las especificaciones técnicas que debe cumplir la cal hidratada, y hace referencia de que el disponible o la cantidad de Hidróxido de calcio que debe de contener un producto envasado en presentaciones de 25 kg, a granel o saco de big bag debe de ser el 75% mínimo de pureza de hidróxido de calcio, con una finura retenida en matiz con Malla n° 100 de 3% máximo y Malla N° 200 10% como máximo. Tal como se observa en la tabla que se anexa:



NMX-C-003-ONNCCE-2010 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CAL HIDRATADA- ESPECIFICACIONES

CARACTERÍSTICA	VALOR ESPECIFICADO	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de Ca(OH)_2	75 % mínimo	6.2.2.4
Finura (Retenido en tamiz con malla No. 100)	3 % máximo	6.1.1
Finura (Retenido en tamiz con malla No. 200)	10 % máximo	6.1.1
Humedad libre	3 % máximo	6.2.1
CaO libre	3 % máximo	6.2.2
Contenido de CaCO_3 (pureza mínima 70%)	25 % máximo	6.2.3
Contenido de MgO	1 % máximo	6.2.4

IMAGEN 27: Norma Mexicana ONNCCE.

Por otro lado, debemos conocer y saber acerca del disponible o pureza de la cal, ya que desde la antigüedad, se ha buscado que las canteras que están constituidas por el carbonato de calcio, tengan un alto contenido de este. En México se encuentran canteras desde el 98%, 95% y 90% de pureza del carbonato de calcio, cabe señalar que esta pureza se conserva, aún al ser calcinada la piedra a 1000°C, y al ser hidratada. Es así que entre mayor pureza tenga, mayor rendimiento ofrece, lo que se verá reflejado en metros cuadrados o pegado de piezas.



Para los especialistas en restauración, es importante saber la pureza de la cal, y este es un proceso muy sencillo que se puede llevar a cabo en obra, teniendo dos buretas y una cuchara chica infantil, se introduce en las buretas la proporción de cal en la cuchara, y el resto se introduce agua destilada, o en su defecto agua de la marca **eopura** (tiene características químicas que un agua destilada), se agita el recipiente, se deja reposar por veinticinco minutos. Después de este tiempo, el resultado es que si el agua es muy turbia y se encuentra varios sedimentos al fondo del recipiente, es posible que la cal no sea hidratada y contenga residuos de carbonato de calcio y sílices. Actualmente en laboratorio se realizan las pruebas de *disponible*, con ayuda de agua destilada, ácido clorhídrico y agua azucarada como indicadores químicos.

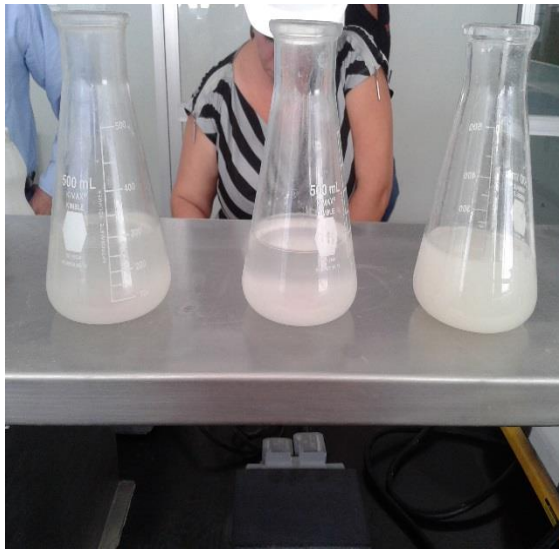


IMAGEN 28,29 Y 30: PRUEBA DE DISPONIBLE DE LA CAL CON AGUA DESTILADA, INDICADOR AZUCARADO EN UN ENSAYE QUÍMICO.



1.3.1.-Propiedades en su utilización como mortero y estucos a base de cal-arena.

En cuanto al **Mortero**, las mezclas con cal hidratada forman unidades de mamposteos resistentes, estables y sin fisuras, al mismo tiempo que son económicas. El beneficio de realizar las mezclas con cal, es que presentan mejores condiciones para trabajar, mayor plasticidad y la consistencia adecuada; es importante mencionar, que tiene un tiempo de fraguado gradual que va evolucionando a través del tiempo, de ahí que permite la correcta hidratación e interacción con los materiales pétreo o manufacturados por el hombre. Considerando que el peso específico de la cal, es menor al del cemento, se obtiene un mayor volumen de mezcla con la misma proporción, dando como resultado un rendimiento superior.



IMAGEN 27 Y 28: MORTERO BASE CAL-ARENA PARA JUNTEO DE MAMPOSTEO.

En cuanto al **Estuco**, primero debemos establecer que el estuco como mezcla de cal hidratada y agregado fino (arena); es considerado una pasta de revestimiento continuo que resulta adecuado para dar acabados finos, o textura lisa en muros. Todos los estucos tienen en común estar conformados por una capa de aplanado grueso y dos capas de aplanado finos, mismo que permiten el relleno de fisuras y



eliminan los pequeños desniveles para regularizar y conseguir uniformidad en el muro. Solo el empleo de materiales de excelente calidad de alta pureza en el tema de cal, y menos contaminantes en el tema de la arena, puede asegurar un buen trabajo de estucos. La pureza de la cal en este tipo de acabados artesanal, representa un factor importante para la obtención de excelentes resultados en apariencia y durabilidad.



IMAGEN 28: INTEGRACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE ESTUCOS A BASE DE CAL-ARENA PARA MOLDURAS.



IMAGEN 29: INTEGRACIÓN DE APLANADOS A BASE DE CAL-CEMENTO.

1.3.2- Pruebas a la Compresión Simple en morteros cal - arena.

Cabe señalar que actualmente las pruebas a la compresión se realizan para saber la resistencia de los morteros a base de cal-cemento-arena, y conocer su comportamiento a veintiocho días. Esto está basado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y



Construcción de Estructuras de Mampostería del Reglamento para Construcciones del Distrito Federal, en este documento se especifica que la resistencia mínima a la compresión en los morteros para la unión de piezas de mampostería es de 40.0 kg/cm².

Así mismo, la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) N- CMT-2-01-001-02, menciona que la resistencia del mortero a la compresión simple, obtenida a los veintiocho días; se debe recolectar de la mezcla de mortero hecha en obra en moldes metálicos en especímenes cúbicos de cinco centímetros por lado, y debe cumplir con la tabla en el tipo III de esta norma, según el tipo de mortero que se trate, tal como se especifica a continuación.

NORMA DE LA SCT: N-CMT-2-01-004-02

Tipo	Resistencia mínima MPa (kg/cm ²)
I	12,5 (127)
II	7,5 (76)
III	4,0 (41)

Tabla I.- Resistencia a la compresión de los Morteros (SCT).



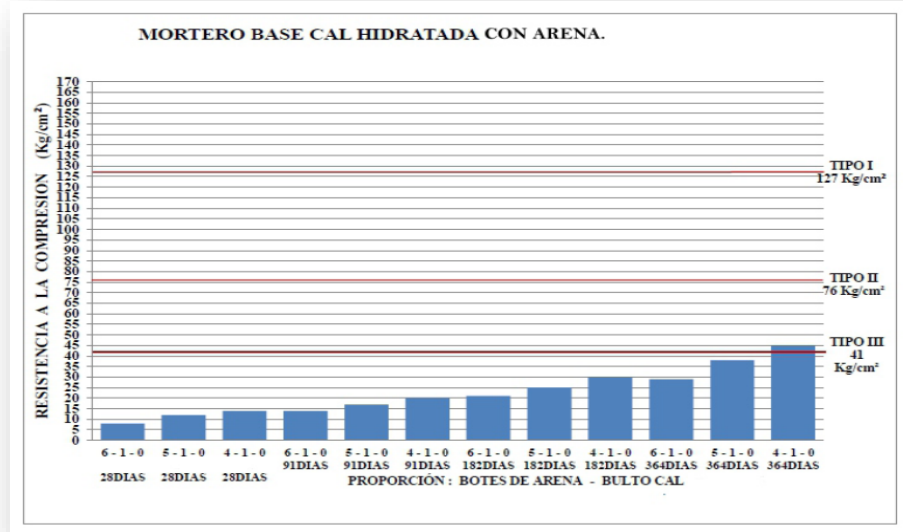
IMAGEN 30: TOMA DE MUESTRAS DE ENSAYES DE MORTERO A BASE DE CAL - ARENA.

Estas pruebas se recomiendan para ver la resistencia a la compresión simple que se ha alcanzado a los veintiocho días por el aditivo que es el cementante, el cual funciona como un acelerante, para alcanzar más rápido la resistencia en una mezcla de mortero a base de cal-cemento-arena, ya que por la formulación química del cementante, en este tiempo llega a su resistencia factible en obra. Es importante recordar, que en las obras arquitectónicas consideradas monumentos históricos, este no es el caso, ya que el cemento está presente en



nuestro país, a partir de los años 1920- 1925, y las obras de la época prehispánica, colonial, y del México independiente, se realizaban con morteros a base de cal – arena.

Es así que las normas anteriormente mencionadas, solo son un parámetro que nos permite medir la compresión simple promedio que tiene un mortero a base de cal-arena a los veintiocho días, cuando se destine a una integración de junteo de muros de mamposteo, aplanados gruesos y finos, ya que actualmente no se sabe con precisión la resistencia a la compresión simple de estos morteros, por que pocas veces se hacen estudios. Un aporte importante en el trabajo de tesis, son las pruebas realizadas en el laboratorio de Calidra de Oriente, donde se ha demostrado que los morteros a base de cal-arena no adquieren gran resistencia a los veintiocho días, sino su resistencia la adquiere con el paso del tiempo, esto es, al momento de que la cal se recarbonatiza, al alimentarse del CO₂ del medio ambiente, esto favorece su resistencia que se verá reflejada hasta los 364 días, alcanzando una resistencia a la compresión simple de 45 kg/cm², cumpliendo



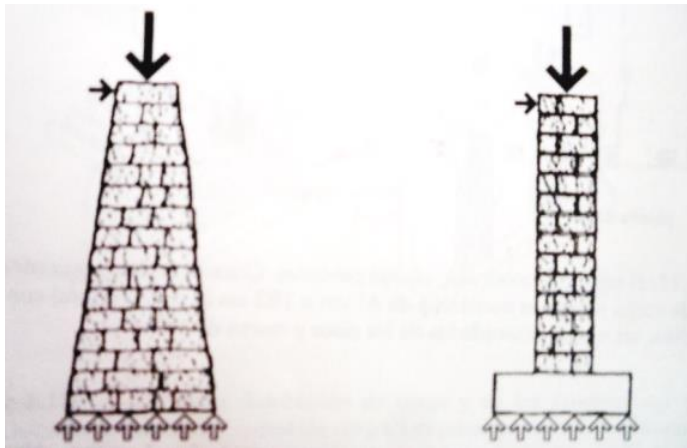
Gráfica 1.- Resistencia a la compresión de mortero base cal – arena.

con un mortero tipo III conforme a la normativa anteriormente mencionada. Es importante mencionar que se realizaron varios muestreos de ensayos con proporciones 6:1, 5:1 y 4:1, dando como resultado que en la proporción 4:1 (arena-cal) en tiempo de ensaye en 28, 91, 182 y 364 días, la proporción alcanza mayor resistencia que los demás; Ver Gráfica 1.

La explicación del porque los junteos, aplanados gruesos y finos no requieren grandes resistencia a la compresión en morteros de base cal-arena en las obras arquitectónicas consideradas monumentos históricos, es por la forma de los muros de mamposteo, es así que citaremos



del libro *'Compresión de las Estructuras en Arquitectura'* (Fuller: 1999), en el capítulo siete de Columnas y Muros explica: “A menudo los



muros de mampostería tradicionales eran en talud (muy gruesos en la parte inferior) de una forma triangular que es inherentemente más estable que un rectángulo; además proporciona una gran área en la parte inferior que distribuye la carga en el suelo de apoyo. Estos mismos efectos se logran en construcción de albañilería contemporánea al usar una zapata de cimentación que se ancla al muro usando acero de refuerzo”¹⁶ (figura 1).

Figura 1: Los muros en talud y muros con zapatas extendidas resisten el volteo mientras distribuyen las cargas verticales sobre un área grande en la base.

En la misma obra el autor refiere también que: “la mampostería de adobe usada en estructuras de pueblo del sudoeste es relativamente débil a la compresión y aún más a la flexión por lo que requieren muros más gruesos. Este espesor proporciona superficie resistencia de área lateral a las cargas del viento sin agregar reforzamiento”¹⁷ (Figura 2). Por el contrario, señala el autor que: “los muros de mampostería delgados son inherentemente débiles a la flexión así que en realidad fallan al doblarse es así que utilizan castillos o las pilastras que se pueden usar para mantener erguidos los muros de carga contra pandeo sin engrosar todo el muro Alternativamente, el muro puede mantenerse erguido al construirse en dos capas separadas conectadas por castillos internos formando un muro equivalente a una columna en

¹⁶ Fuller, Moore. *“Compresión de las Estructuras en Arquitectura”*, Pág. 72-73.

¹⁷ Idem.



forma de H, la costilla interna es esencial para resistir las fuerzas de corte que se desarrollan desde cada capa delgada que tiende a pandearse separadamente¹⁸ Tal como se puede observar en las imágenes siguientes (Figura3).

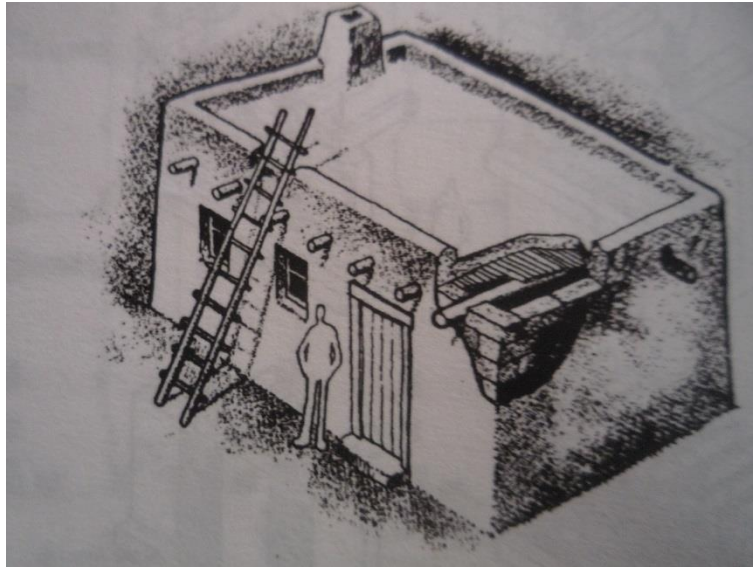


Figura 2: Casa de mampostería en muros de material de adobe.

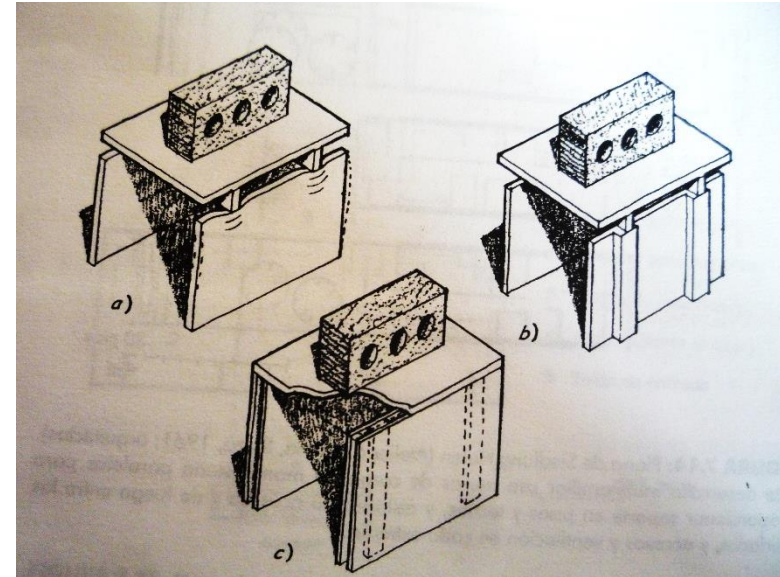


Figura 3: Modelo demostrativo que muestra los efectos de una concentración de carga en un muro: a) falla local debida a la concentración de carga bajo las vigas, b) las pilastras o castillos reducen esfuerzos al aumentar el área y c) muro de cavidad, con refuerzo interno para prevenir el pandeo.

Por lo que se concluye que en los mamposteos de forma triangular y gruesos, el mortero base cal- arena no es una mezcla que trabaje a fuerza de compresión que soportara las cargas del elemento estructural, sino que es solamente un aglutinante que su función es el pegado de piezas de mampostería, tabique, barro, piedras pómez, piedra de cantera y volcánicas, y que la resistencia que adquiere este mortero es gradualmente a través del tiempo, y le ayudara al elemento estructural a darle rigidez, y además proporcionará elasticidad a la estructura

¹⁸ Idem.



La necesidad de un material en estado plástico para rellenar huecos entre piedras y para proporcionar cierta adherencia y continuidad entre ellas, dio lugar al empleo de los morteros. El más elemental de los materiales para ese propósito fue el barro, cuya principal debilidad es la degradación ante la intemperie. En Mesopotamia se usó, desde el tercer milenio A.C. el asfalto como estabilizador del barro, o lodo para las juntas y rellenos. Posteriormente en el mortero de cal y arena permitió la construcción de elementos más resistentes y más durables, por su mayor capacidad cementante y durabilidad.

Las mamposterías de los edificios antiguos están generalmente unidas con mortero de cal y arena, lo que les confiere ciertas propiedades particulares. La cal adquiere resistencias por un proceso de carbonatación que se da por el contacto con el aire. Este proceso ocurre lentamente y progresa de las caras exteriores hacia el interior del elemento estructural. De hecho se requiere varios años para que un mortero de cal en el interior de un elemento masivo fragüe totalmente. Esta situación confiere a los elementos estructurales cierta capacidad de deformarse y adaptarse a cambios de forma, como los debidos a hundimientos de su cimentación.

Los morteros de cal y arena alcanzan típicamente resistencias en compresión de entre 5 y 20 kg/cm² generalmente Ver tabla II; Aunque mucho más durables que los morteros de barro, son también afectados por el intemperismo, debido a que su relativa porosidad permite la penetración de humedad, con sales que atacan el cementante.

Al inicio de nuestra era, los romanos lograron avances significativos al agregar puzolanas al mortero de cal. Esta es un material fino de origen volcánico que reacciona directamente con la cal, produciendo su carbonatación sin necesidad de exposición al aire, da lugar a un endurecimiento mucho más rápido y aun importante aumento de resistencia e impermeabilidad y por consiguiente de durabilidad. Esto facilitó el desarrollo del primer concreto hecho a base de cal con el objeto para construir grandes obras como puentes, canales, acueductos y bóvedas de grandes claros.

En distintas épocas y culturas se emplearon diferentes aditivos para mejorar las propiedades de los morteros con el fin de incrementar sus resistencia, durabilidad, impermeabilidad y sobre todo adherencia con las piedras y ladrillos, muchos de estos “morteros mejorados” resultaban muy costosos y eran empleados sólo para monumentos muy importantes. Fue común la adición de polvo de ladrillo y de arena pumítica con propiedades puzolánicas. Otros aditivos de tipo orgánico se empleaban para mejorar la adherencia; su efectividad a largo plazo es dudosa, ya que los aditivos orgánicos se degradan con el tiempo.¹⁹

La introducción del cemento portland data de fines del siglo XIX, de ahí que su presencia en los edificios de este siglo es un producto comúnmente de reparaciones o modificaciones recientes. El mortero de cemento, además de alcanzar resistencias muy superiores a las del mortero de cal (50-200kg/cm²), tiene un endurecimiento muy rápido y mucho mayor módulo de elasticidad, lo que imparte mayor rigidez a la obra de mampostería, razón por la cual debe tenerse cuidado al reparar localmente con morteros de cemento, elementos de mampostería

¹⁹ Meli. Roberto “Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos”, Pág. 28.



construidos con morteros de cal. Esto introduce zonas más rígidas donde se tienden a producir concentraciones de esfuerzos. Los morteros, como los concretos, los ladrillos y las piedras tienen buena capacidad para absorber esfuerzos de compresión, pero su resistencia en tensión es muy baja, típicamente un décimo de la compresión.²⁰

Tabla II. Propiedades de algunos morteros extraídos de Monumentos de la región de los Balcanes (de Penelis, 1996)		
MONUMENTO	RESISTENCIA EN COMPRESIÓN (KG/CM2)	PROPORCIÓN CAL: ARENA
Rotonda de Tesalónica	23	1 3
Rotonda de Tesalónica	37	2 5
Hagia Sophía	45	-
Bey Hamani	12	1 2.5
Minarete de la Rotnda	12	1 2.5

Tabla II-. Resistencia a la compresión de los Morteros.

1.3.3.- Rendimientos y Costos de mortero a base de cal-arena.

En este tema de rendimiento es importante mencionar que entre más pura sea la cal o que contengas más contenido de carbonato de calcio la piedra, se tendrá mayor blancura. En el estado de Puebla, las cales de alta pureza tienen un porcentaje de 90, 95 y 98 por ciento de carbonato de calcio; así en el tema de la restauración y conservación los rendimientos conforme a la pureza de la cal y son los siguientes:

²⁰ Meli. Roberto “Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos”, Pág. 28.



- **CAL HIDRATADA DEL 90% DE PUREZA:** En un mortero base cal-arena en proporción 4:1. Se tiene en repellado grueso con un espesor de dos centímetros un rendimiento de 4.00 m².
- **CAL HIDRATADA DEL 95% DE PUREZA:** En un mortero base cal-arena en proporción 4:1 se tiene un repellado grueso con un espesor de dos centímetros un rendimiento de 4.50 m².
- **CAL VIVA DEL 98% DE PUREZA:** En un mortero base cal – arena en proporción 4:1 se tiene un repellado grueso con un espesor de dos centímetros en un rendimiento de 5.00 m².



IMAGEN 31: APLICACIÓN DE MORTERO CAL – ARENA PARA REALIZAR MUESTRA DE RENDIMIENTOS.



IMAGEN 32: COLOCACIÓN DE MORTERO BASE CAL-ARENA PARA APLANADO GRUESO COMO PRUEBAS DE RENDIMIENTOS.

En el tema de costos, es importante mencionar que se realiza una tabla de precio con la relación del mortero de cal – arena que actualmente se tiene en el mercado, donde el objetivo principal es darle al lector de este tema, un panorama económico en el cual se encuentra la cal en el mercado de la construcción. Así tenemos que el precio en el mercado es variable, y esto se debe a la calidad del producto de la cal, ya que por su contenido alto de carbonato de calcio que va en relación a su pureza, entre más barato es el producto menor es su calidad, es así que



en el mercado encontramos cales donde el bulto de 25 kg fluctúa en \$25.00 pesos, \$27.50 pesos, \$ 30.00 pesos, \$ 31.25 pesos. Estos precios son los que estaban vigentes en el mes de Julio del 2014. A continuación se muestra una tabla de precio por m² de mortero a base de cal de alta pureza del 95 % y arena Ver tabla III. Además se agrega una tabla de precio si se utiliza mortero de cemento ya que el restaurador aparte de saber que por las características químicas de este material no es compatible con los materiales de mamposteos así mismo no es apto por precio; la diferencia por costo es de \$19.58 pesos m².

CAL DE ALTA PUREZA CON DISPONIBLE DEL 95%				
MORTERO TIPO III; PROPORCIÓN 3: 1				
f' c = 40 kg/cm²				
	Cemento	Cal	Arena	Agua
Proporciones Cal+ Arena	1	3	2.2	
	Kg	Kg	Lts	Lts
Unidades de Cada Material	0.00	25.00	57	42.9
	Ton	Ton	M3	M3
Costo de Materiales	\$0.00	\$31.25		
Usos:	JUNTEO Y REPELLADO DE MAMPOSTEO			
Observaciones	Cal de alta pureza del 95%			
Material	Unidad	Costo	Cantidad	precio
CAL DE ALTA PUREZA CON DISPONIBLE DEL 95%	Kg	\$1.25	25.00	\$31.25
Arena Cernida	Lts	\$0.15	57	\$8.55
Agua	Lts	\$0.02	42.9	\$0.94
		Costo por Bachada		\$40.74
		Costo por M2		\$13.58

TABLA III: TABLA DE PRECIO UNITARIO POR M2 PARA MORTERO BASE CAL –ARENA.

MORTERO DE CEMENTO				
MORTERO; PROPORCIÓN 3:1				
f' c = 156 kg/cm²				
	Cemento	Cal	Arena	Agua
Proporciones Cemento+ Arena	1	3	2.2	
	Kg	Kg	Lts	Lts
Unidades de Cada Material	50.00	0.00	57	42.9
	Ton	Ton	M3	M3
Costo de Materiales	\$1,800.00	\$0.00	\$150.00	\$22.00
	\$90.00	\$0.00		
Usos:	JUNTEOS Y REPELLADOS DE MAMPOSTEOS			
Observaciones	CEMENTO - MORTERO			
Material	Unidad	Costo	Cantidad	precio
Cemento Mortero	Kg	\$1.80	50.00	\$90.00
Arena Cernida	Lts	\$0.15	57	\$8.55
Agua	Lts	\$0.02	42.9	\$0.94
		Costo por Bachada		\$99.49
		Costo por M2		\$33.16

TABLA IV: TABLA DE PRECIO UNITARIO POR M2 PARA MORTERO –CEMENTO.



1.3.4.- La cal en la Restauración para la elaboración de Impermeabilización, Pintura y Pasta a base de Marmolina.

Actualmente con los sistemas y materiales prefabricados, al constructor de hoy se le facilita comprar un producto ya elaborado, y pagar el costo de la manufactura en lugar de realizarlo en obra y ahorrarse ese dinero, argumentando que el ahorro lo logra en los tiempos de ejecución; pero en el tema de restauración y conservación de inmuebles históricos el argumento no es válido, ya que se trata de trabajos especializados para garantizar la vida útil del bien inmueble.

A continuación se expone al especialista en restauración, arquitecto, ingeniero y/o constructor, algunas recomendaciones de cómo realizar algunos trabajos empleando la cal, sin dañar los materiales de fábrica. Es así, que las siguientes dosificaciones de cómo preparar impermeabilizante, pintura y pastas, son una propuesta del autor de este escrito, en colaboración con otros arquitectos; mismas que se han puesto en práctica en la ejecución de ciertas obras, siempre utilizando cal de alta pureza, aunque en algunas regiones pueden variar las proporciones.

1. Impermeabilización a base de cal: Para realizar el impermeabilizante se necesita los siguientes materiales que son: CAL, JABÓN Y ALUMBRE para realizarlo de una forma artesanal. Su procedimiento es el siguiente:

- Disolver 1 kg de PIEDRA alumbre en 10 litros de agua caliente al fuego.
- Disolver 6 pastillas de jabón de pasta de 800 Kilogramos.
- Poner tambo de 200 litros con 100 litros de agua y agregar 2 costales de cal (Cal del 95% mínimo de pureza), se agrega jabón disuelto y alumbre.
- Limpiar superficie perfectamente para la liberación de polvo antes de aplicar.
- Humedecer la superficie antes de su aplicación.
- Se aplica con un cepillo de cerda gruesa en dos capas, una en forma horizontal y otra en vertical, esperando que seque entre capas.



IMAGEN 33: MATERIALES DE APLICACIÓN PIEDRA ALUMBRE, JABÓN ZOTE BLANCO Y CAL DE ALTA PUREZA.



IMAGEN 34: ÁREA SIN IMPERMEABILIZANTE ABSORBE LA HUMEDAD.



IMAGEN 35: ÁREA CON IMPERMEABILIZANTE REPELE EL AGUA Y NO DEJA QUE LA SUPERFICIE LA ABSORBA.

2. **Pintura a base Cal:** Es importante mencionar que este proceso de fabricación de pintura es milenario ya lo ocupaban en las civilizaciones prehispánicas, época colonial, en el México independiente y a principio del siglo XX, incluso en la actualidad es muy demandado por los especialistas que realizan arquitectura bioclimática y sustentable, más aun el restaurador lo debe de hacer en la conservación de monumentos históricos, ya que desde el punto de vista técnico, la aplicación de pintura a base de cal apagada o hidratada de alta pureza en obra permite que los aplanados respiren, facilitando la entrada y salida de aire, dejando salir de este modo la humedad. Esto es debido a que solo aplicamos agua con cal, o llamado agua cal; este acabado de color constituye el complemento de los aplanados de mortero de cal-arena y su procedimiento es el siguiente:

- Un bulto de 25 kg de cal (óxido e hidróxido) de 95% de pureza.
- Mucilago o baba de nopal cubeta de 19 litros.



- En caso de no utilizar baba de nopal, utilizar resina blanca un galón de 4 litros.
- En un tonel de 200 lts colocar 100 litros de agua limpia.
- Su procedimiento es el vaciar la cal en el tambo, colocar los 100 litros de agua y posteriormente aplicar baba de nopal, dejar reposar 48 horas, en dado caso de utilizar resina aplicar resina al utilizar la pintura.
- Limpiar la superficie donde se va aplicar y pasar dos manos esperar que cada mano seque para la aplicación de la otra mano el rendimiento de es de 20 m² en dos manos.



IMAGEN 36: MUESTRA DE LA PREPARACIÓN DE LA BABA DE NOPAL ANTES DE SU APLICACIÓN CON LA PINTURA A LA CAL.



IMAGEN 37: FONDEO DE TORRE DE IGLESIA CATÓLICA EN CUANOPALAN CON APLICACIÓN DE UNA MANO CON PINTURA A LA CAL.

3. **Pasta a base de Cal y Marmolina:** La pasta a base de cal y marmolina es un acabado que se puede utilizar en interior y exterior, de preferencia debe ir sobre un repellado. Es importante mencionar, que los repellados sean a base de cal-arena, y no de cemento ya que se puede desprender. Su utilidad radica en que al tener la propiedad de la cal, absorbe humedad y la libera al medio ambiente a través de la evaporización. Su fabricación tiene un costo de \$100 pesos actualmente, incluyendo materiales como cal, marmolina y pigmento su rendimiento son dos cubetas de 19 litros y cada cubeta cubre 10 metros cuadrados, este precio no incluye resina o sellador 5x1 para el fondeo y su procedimiento es el siguiente:



- Un bulto de 25 kg de cal (hidróxido de calcio) de 95% de pureza.
- Un bulto de Marmolina del número dos o uno preferentemente.
- En un tambo se mezcla la cal con la marmolina, se incorpora agua 30 litros y se obtendrá una pasta maleable.
- En caso de requerir colorante se puede poner pigmentos artificiales de 500 gramos.
- Para su aplicación se limpia y se fondea con sellador 5x1 la superficie, y coloca con llana de madera y esponja.



IMAGEN 38: APLICACIÓN DE PASTA A BASE DE CAL – MARMOLINA EN TONALIDAD BLANCO Y A COLOR; DONDE SE REALIZAN PRUEBAS DE COLOCACIÓN PARA DETERMINAR EL ACABADO FINAL.



CAPÍTULO 2.- LA CAL.BREVE HISTORIA DE SU USO

Desde tiempos ancestrales, diversas culturas han empleado la cal, lo que significa que han reconocido sus cualidades y características como material de construcción. En este segundo capítulo, se aborda la historia de la cal en la actividad constructiva de diferentes culturas, estableciendo un panorama general a nivel mundial, uno particular que es México, hasta llegar al caso de Puebla, donde las obras arquitectónicas presentes, hacen uso del material.

2.1-. La cal en la historia de la construcción.

Independientemente que el trabajo tiene que ver con aspectos técnicos y estéticos de la cal, así como su aplicación en la conservación y restauración del patrimonio histórico de diversos sitios y elementos arquitectónicos de incalculable belleza y valor cultural; resulta necesario conocer acerca de la cal en la historia de la construcción, estableciendo su impacto en el desarrollo de civilizaciones, y en el surgimiento de una serie de tecnologías que sí bien hoy día se siguen empleando, son poco valoradas por la mayoría de las personas.

Abordar el tema de la cal en la historia de la construcción, es hablar al mismo tiempo de la historia de la arquitectura, la cual surge por la necesidad del hombre de buscar refugio ante un medio ambiente amenazante (sol, viento, lluvia, nieve, granizo, huracanes, etc.) Sin embargo, las primeras construcciones megalíticas, tienen que ver con aspectos religiosos más que de habitabilidad. De acuerdo a investigadores y críticos de la historia de la arquitectura, se establece que la primera construcción realizada por el hombre es el **mehir**. Con este término se le denomina a todo lo monolito hincado verticalmente en el suelo, y representa un símbolo. La evolución y desarrollo del menhir dio como resultado otro monumento megalítico llamado **dolmen**, palabra que en bretón quiere decir 'mesa grande de piedra'. Se trata de una construcción megalítica consistente por lo general de varias losas (ortostatos) hincadas en la tierra en posición vertical y una losa de cubierta apoyada sobre ellas en posición horizontal. El conjunto conforma una cámara, y está rodeado en ocasiones de un montón de tierra de sujeción o piedras que cubren en parte las losas verticales, forma una especie de colina artificial, esta variante de construcción megalítica se llama **túmulo**, y se reconoce como marca funeraria. Otras variantes más, son las estructuras trilíticas conservadas, donde dos piedras clavadas verticalmente en el suelo sostienen una tercera horizontal, un ejemplo ampliamente reconocido es Stonehenge¹. Este tipo de construcciones han

Resulta importante señalar, que en este período de la historia conocido como prehistoria, el hombre si bien no utiliza la cal, por ser un material ya elaborado y aún no se contaba con las condiciones para su elaboración, sí utilizan la piedra caliza o carbonato de calcio, como material constructivo, hecho que permite reconocer que en el medio natural, la piedra caliza esta presente.

¹ Alonso Pereira, José Ramón, "Introducción a la Historia de la Arquitectura"; Pág. 19-21.

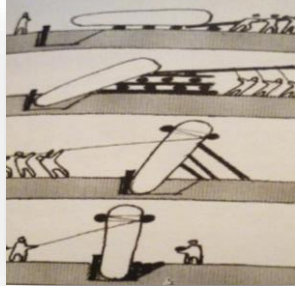


IMAGEN 39: Procedimiento que se utilizaba para levantar un Menhir.

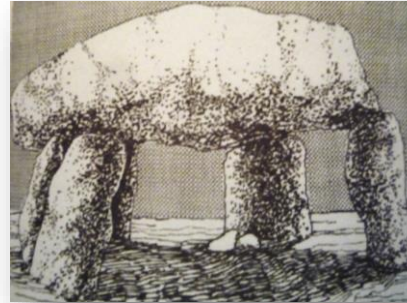


Imagen 40: Dolmen de Kerhan, Morbihan- Francia.



Imagen 41: Dolmen de Axeitos; Galicia España.

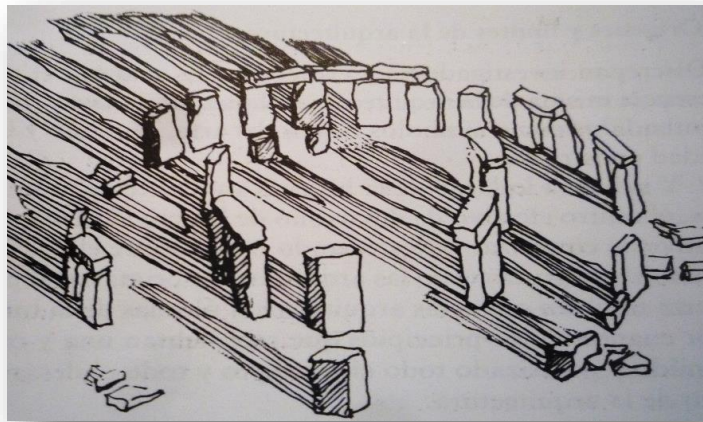


Imagen 42: Circulo Megalítico de STONEHENGE.



Imagen 43: Complejo Astronómico de Stonehenge.



Mapa 1: Las Principales áreas de concentración de los monumentos Megalíticos en Europa.

Otra variante constructiva de esa época, es la Cueva, la cual desde el inicio surge como necesidad de cobijo, la cual generalmente se trata de una gruta natural, que si bien no se le considera arquitectura por estar en su forma natural, al tener contacto con el hombre, y este modificarla, le va dando el carácter de arquitectura aunque incipiente, es así que integran pinturas con fines estéticos y mágica en los muros, muchos de ellos de piedra caliza.

Ya al momento de pasar al sedentarismo, el surgimiento de la vivienda como tal, será ya una constante, pero independientemente de su hábitat, aparecen los primeros sitios para conservar a los muertos, surgiendo así las primeras manifestaciones arquitectónicas de carácter permanente, para ello, se movilizan piedras gigantescas que dan forma a la cueva totémica y a la cueva funeraria, sus características son las siguientes:

- La Cueva Totémica.- Son las construcciones o excavaciones de naturaleza mágica; bajo una bóveda celeste.
- La Cueva Funeraria.- Se refiere a la casa de los muertos, es pensada para la eternidad, labrada en enormes bloques de piedra, constituye parte de la arquitectura megalítica, consiste en un corredor de entrada hasta una bóveda falsa.



Imagen44: Hombre Paleolítico Pintando el Interior de una Caverna.

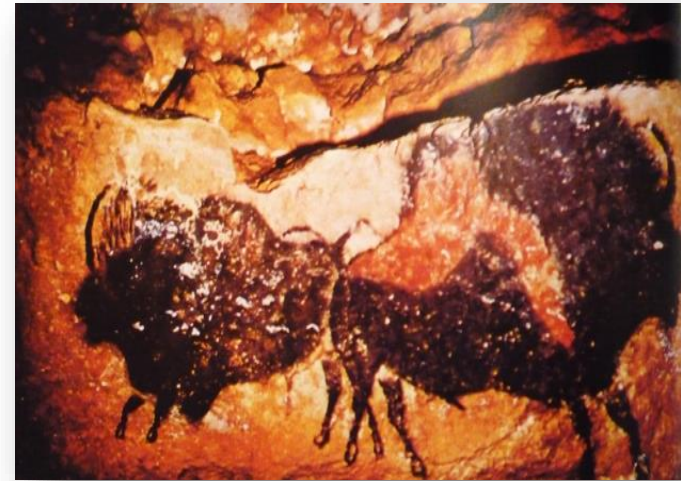


Imagen 45: Bisonte a la carrera, pintura de las cuevas de Lascaux.

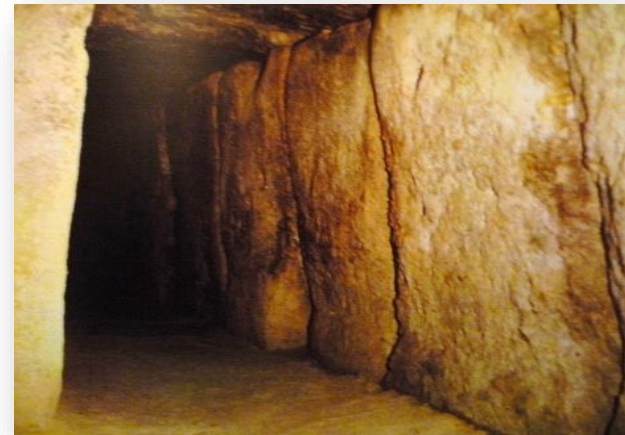


Imagen 46 y 47: Corte Arquitectónico y detalle constructivo del Interior del sepulcro conocido como cueva de Menga; Antequera Málaga.

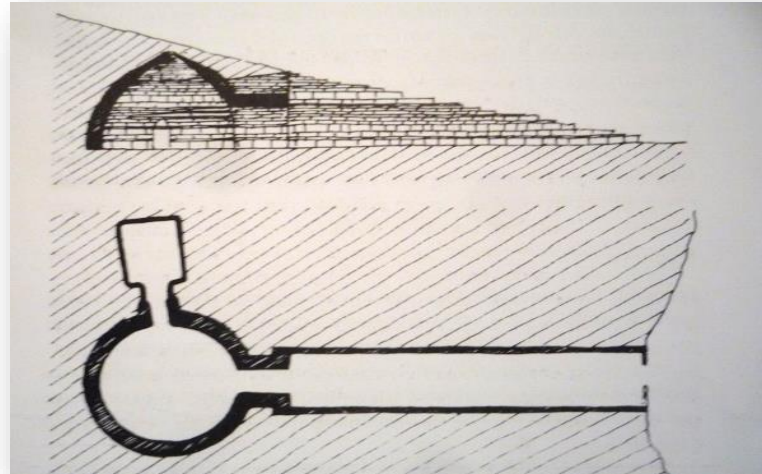


Imagen 48: Alzado y Planta Arquitectónica de la Cueva Artificial en Micenas, conocida como tesoro de Atreo.

Las condiciones del clima como los deshielos, hace que el hombre no pueda salir de las cuevas; de ahí que busca una nueva respuesta a sus necesidades de protección, surgiendo así la cabaña, ejemplo de arquitectura, que se remonta al comienzo del neolítico. Es así, que nuevos materiales que ofrece la naturaleza son empleados, y el perfeccionamiento de métodos para su obtención garantiza la materia prima para formas y tamaños de cabañas, y de su desarrollo surgen las primeras viviendas. En un largo proceso que lleva de la prehistoria a la civilización se desarrolla la agricultura, y con ello asentamientos de poblaciones que harán surgir civilización, mismas que resuelven su hábitat a través de viviendas.

Es así que aparecen las primeras edificaciones ideadas por el hombre, las cuales fueron de planta cuadrada, y estaban amuralladas. A través de trabajos arqueológicos, se pudo establecer que la primera civilización en realizar este proceso constructivo, fueron los Castros Celtas, que edificaron poblados fortificados construidos en el primer milenio A.C. Es así, que la cabaña determina el inicio de la historia de la arquitectura, la cual viene acompañada de las primeras manifestaciones de urbanización, ya que como dijo León Battista Alberti en el siglo XV, “La ciudad es una casa grande y la casa es una ciudad pequeña”.² También en este tipo de manifestaciones constructivas estuvo presente la piedra caliza.

² Marín de L Hotellerie. “Arquitectura Prehistórica Europea”, Pag.27.



Imagen 49: Aldea de KOLN-LINDENTHAL era agrícola y estaba constituida por casas.

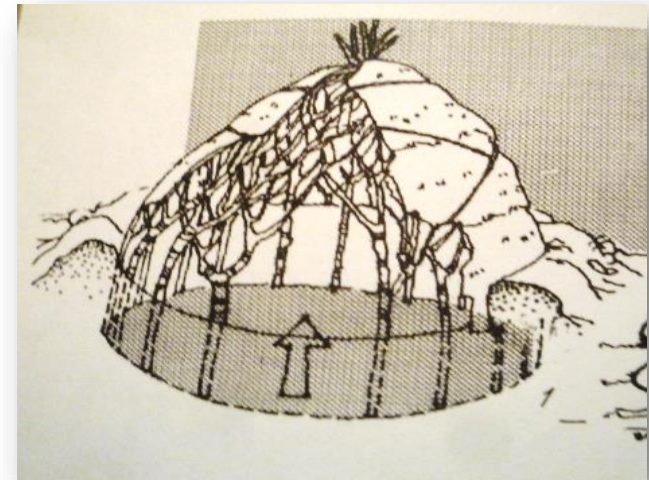


Imagen 50: Típica Construcción llamada fondo de cabaña.

Cabe señalar que los sistemas constructivos de las primeras cabañas eran de paja, palos, hojas y piedras, las formas más representativas son a manera de una tienda de campaña; es así que el sistema constructivo evoluciona hasta tener ya las primeras manifestaciones de elementos estructurales como son muros y columnas, y los materiales utilizados son:

En muro, se utilizó como materiales de fábrica el barro, el ladrillo y la piedra ciclópea, “su elaboración consiste en partir las piedras ciclópeas, y del tamaño más pequeño, se forman sillares para aparejo del muro, las piezas se unen con mezcla, para realizar el muro de mampostería. Es aquí cuando aparece el primer mortero primitivo, el cual emplea el estiércol, paja, arena, rajuelo de piedra brasa para la unión de las piezas de tabique, barro o piedras”.³

³ Marín de L Hotellerie, “Arquitectura Prehistórica Europea”, Pag.49.



Imagen 51: Primeras viviendas que representan una casa de campaña de 1 m2 de área se manifestaron en Francia.



Imagen 52: Primeras Cabañas de piedra y paja; utilización de muros de mamposteó a través de los primeros morteros, dinteles en puertas y ventas.

Así tenemos que el contacto del hombre con la **cal**, parece haberse dado de manera natural, por la evolución misma de los procesos constructivos, y el trabajo con la materia prima que da origen a la cal, que es la piedra caliza en sus diferentes tipos como lo son: el mármol y las canteras de piedra, las cuales son muy comunes en la naturaleza. De acuerdo a diferentes historiadores, durante el neolítico, y con el uso del fuego, el cual contenía a base de piedras que lo rodeaban, generando hogueras. Cuando dichas piedras tenían altos contenidos de carbonato de calcio (caliza) formaban cal, al apagar el fuego con agua el hombre primitivo notó que se formaba una argamasa que se solidificaba, a partir de este hecho fortuito es que surge la cal. Acción que se repetirá para la fabricación de las primeras mezclas cementantes, debemos hacer notar que las cenizas de leña o de cualquier otro combustible, añaden propiedades de fraguado a las mezclas, situación que fue percibida por el hombre del neolítico.



MAPA 2: DESARROLLO DEL NEOLÍTICO.

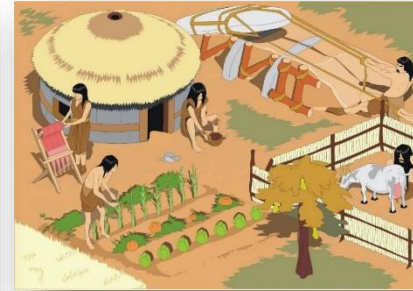


Imagen 53: Asentamientos de las primeras civilizaciones.



Imagen 54: Las Civilizaciones Neolíticas empezaron la agricultura.

Una de las civilizaciones que destacan en la utilización de la **cal** como mortero (cal-arena) dentro del periodo Neolítico–Griego, es la población de SESKLO que fue un poblado agrícola perteneciente al poblado griego de TESALIA, aproximadamente 4,800 años A.C. El asentamiento estaba conformado de 150 a 200 habitantes; se dedicaban a la agricultura, y tuvieron la necesidad de construir viviendas. Datos históricos señalan que tenían una muralla de protección en su perímetro. El sistema constructivo utilizado fue hacer cimientos de piedras, pisos de piedra uniéndolas con aglutinante compuesto de cal-arena, paredes de caña de río y barro o ladrillos, estos también adheridos con aglutinantes, y los techos realizados con madera y caña, levemente inclinados y recubiertos con un lecho de barro. La planta arquitectónica de estas viviendas estaba compuesta para áreas destinadas de descanso y convivencia, además de bodegas pequeñas para el almacenamiento de productos agrícolas.

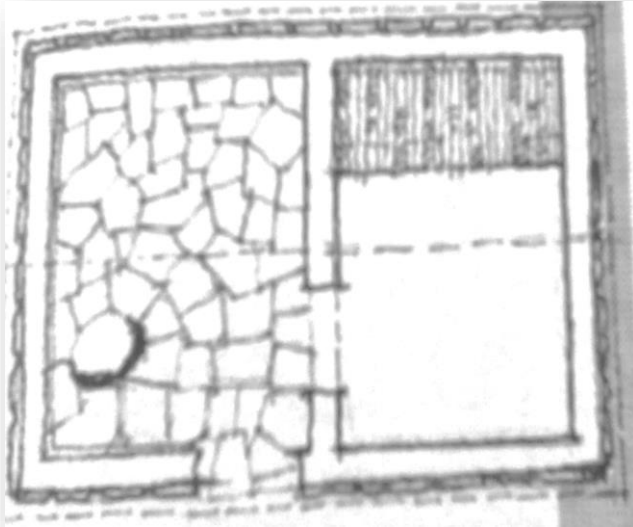


IMAGEN 55: Planta Arquitectónica de Vivienda Neolítica.

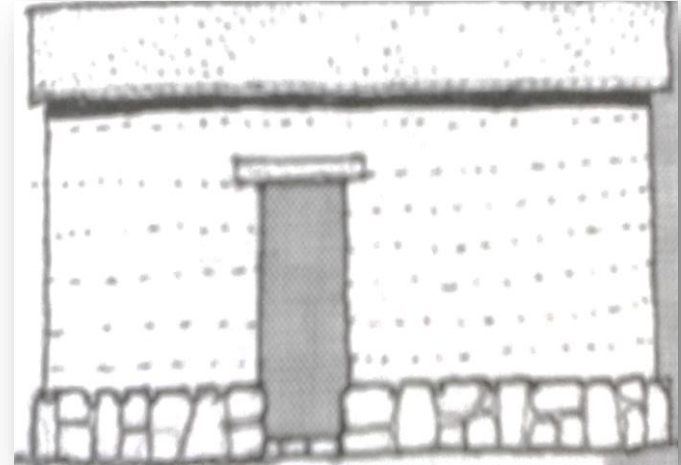


IMAGEN 56: Fachada de Vivienda Neolítica.



Imagen 57: Ciudad con Muralla con Piedra en el Neolítico.

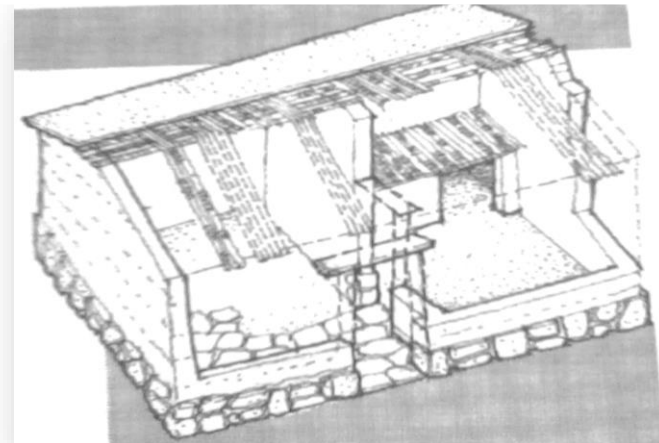


Imagen 58: Isométrico del Sistema Constructivo de una Vivienda Tipo.



Es así, que podemos establecer que la utilización de la **cal** como componente en las técnicas constructivas de antiguas civilizaciones, parece haberse dado de manera casi fortuita, con lo anterior nos referimos a que su utilización como material de construcción no está plenamente establecido de como inicio, pero investigaciones y excavaciones realizadas en los primeros asentamientos humanos, se le ha encontrado. Para el año 6000 A.C., en **Catal Hüyük** actualmente Turquía, la utilización de la **cal** como material **aglomerante** y **cementante** era ya una práctica común, prueba de ello lo dan los análisis de los diferentes estucos, aplanados mezclas y materiales de unión encontrados en las ruinas.

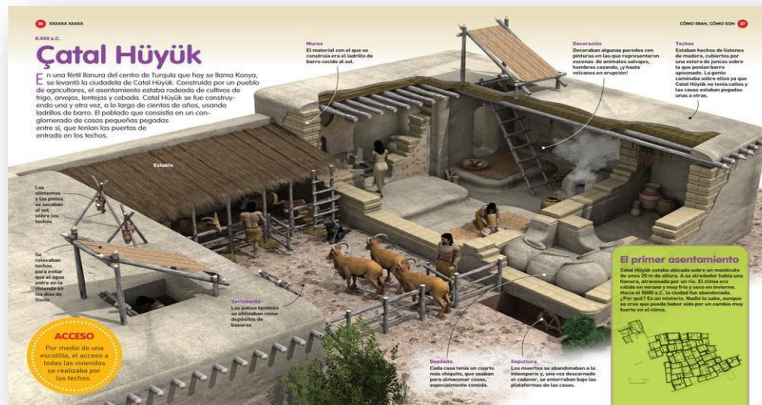


Imagen 59 Y 60: Se muestra Isométricos de Vivienda de CATAL HÜYÜL; donde se puede apreciar el sistema constructivo que integra una vivienda de esta civilización.

En la edad de los metales, está claro que la humanidad supera la utilización de las herramientas labradas en piedra (silex), y la sustituye por el uso de metales, etapa que permite reconocer avances significativos en materia de vida en comunidad y perfeccionamiento de la arquitectura. Es la etapa cuando el hombre desarrolla técnicas para refinar el cobre y el hierro utilizando sus aleaciones con plomo y estaño, surgiendo el bronce, en este proceso de refinación, se conoce que está presente la **cal**. Durante éste



largo periodo de la historia, se generaliza la utilización del hierro en el Lejano Oriente, y su refinación va a producir piezas de acero más elaboradas. El artesano herrero, domina las mezclas de fundentes para los metales. La vida en comunidad amplia la posibilidad de supervivencia, se inicia la división del trabajo, y se perfeccionan técnicas constructivas, donde la cal aparece como uno de los principales componentes.

IMAGEN 61: Civilización en la era del metal donde le permitió al hombre manipular el material de la roca caliza y fundirla para adquirir cal viva y cal apagada.

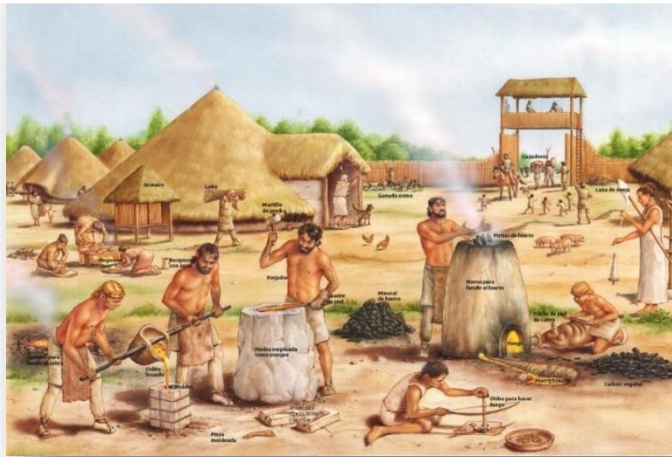
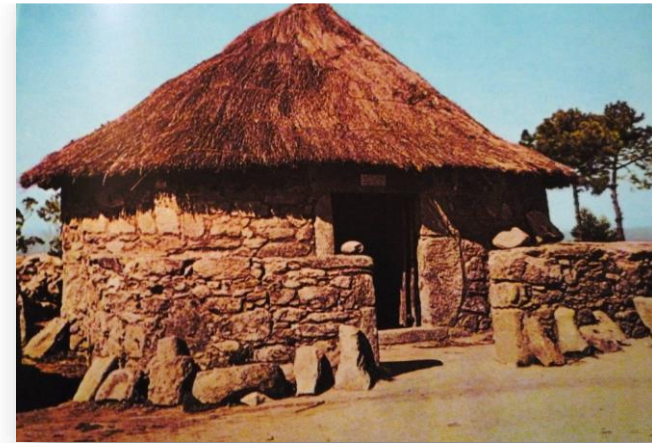


IMAGEN 62: Reconstrucción de una de las viviendas del castro celta de Santa Tecla. Realizada totalmente de piedra caliza junto de mortero (cal-arena) techo de paja y madera.



2.1.1.- La presencia en diferentes culturas.

Hemos visto rasgos generales como desde la prehistoria la cal en los sistemas constructivos estuvo presente, esta experiencia, aunado al dominio de la refinación de ciertos metales, el crecimiento de la población en aldeas, pueblos y ciudades, la división social del trabajo, y el conocimiento de las cualidades de los materiales como la **cal**, comienzan a surgir las primeras ciudades estado, donde la actividad constructiva ira en aumento. Esta etapa de la historia conocida como 'Antigüedad', permite el desarrollo de civilizaciones en



regiones como Mesopotamia Egipto, Grecia y Roma, solo por mencionar algunos lugares, donde se utilizaron como materiales de construcción la piedra, la madera, ladrillos de barro secados al sol y la cal, tanto en su estado natural como ya procesada. Asiria por ejemplo, estaba ubicada sobre una meseta de piedra caliza, mientras que en la región de Egipto, se conoce que: “Había sin embargo abundancia de piedra caliza, piedra arenisca y granito”⁴, producto de las condiciones medio ambientales. Grecia no fue la excepción Tirinto se encuentra sobre una colina caliza, y Micenas empleo el uso de piedra caliza sin cimbra, además se conocen pisos de piedra caliza y enlucidos a base de cal. Los romanos perfeccionan todos los sistemas constructivos, y los materiales como la cal se generalizan en estucos y argamasa. Sin duda, en el repertorio de construcciones de esta época, la cal fue uno de los materiales por excelencia.

La época Medieval donde los estilos Paleocristiano, Bizantino, Románico y Gótico se desarrollan, van hacer uso de la cal de muchas maneras, sin embargo destaca su uso en enlucidos de muros, con pintura o sin ella, reconociendo la protección que el material ofrece a los muros, también se usó en la colocación de mosaicos de colores. Los tratados de arquitectura de la época, incluyen a la cal como material imprescindible en la construcción.

En el Renacimiento la proliferación de la actividad comercial y el surgimiento de una burguesía incipiente, traerá nuevos repertorios arquitectónicos y estilos arquitectónicos diversos, desde el barroco hasta el neoclásico, “...inspirados en las formas clásicas grecorromanas, pero con elementos constructivos y ornamentales, mezcla del Románico y el Gótico”⁵, donde la cal seguirá siendo empleada con profusión como aglutinante, en acabados finos, y ornamentación, producto del perfeccionamiento de su uso, y que se encuentra en el medio natural de casi todo el planeta.

En la época Moderna, los avances tecnológicos de la Revolución Industrial traerá nuevos materiales como el hierro fundido, el acero, el cemento portland, el concreto armado, el vidrio, etc., pero la cal, seguirá siendo parte de los materiales empleados en la construcción, su industrialización, permitirá su uso en todo tipo de construcciones.

A grandes rasgos hemos visto como en todas las etapas de la historia, el ser humano ha utilizado la cal en sus construcciones, a través de diversas aplicaciones, incluida la fabricación de vidrio por los egipcios. Con el surgimiento del imperio romano se consolida la utilización de la cal en la construcción a gran escala, el foro romano y la construcción de caminos y calzadas es prueba de ello. La Vía Apia por ejemplo, fue construida con técnicas de estabilización de suelos con cal, y que decir del denominado “cemento romano”, hecho a base de cal, arcilla y arena, mezcla que continua viendo pasar siglos de historia como mudo testigo de las cualidades de la cal y su empleo en la construcción. Considerando que el tema sobre el uso de la cal a lo largo de la historia resulta muy amplio, y no es el objetivo de este trabajo desarrollarlo, pero sí referirlo, se presenta a continuación un esquema a manera de línea del tiempo de las civilizaciones que manifestaron en su arquitectura el uso de la cal.

⁴ Mansbridge, John. “Historia Gráfica de la Arquitectura”, p. 36

⁵ Esteva Loyola, Ángel. “Universo de los Estilos en la Arquitectura”, p. 182



DIFERENTES ÉPOCAS DE LA HISTORIA DE LA ARQUITECTURA EN OCCIDENTE.			
ÉPOCAS	CIVILIZACIONES Y CORRIENTES ARQUITECTÓNICAS	EJEMPLOS ARQUITECTÓNICOS	
PREHISTORICA 4,000 A 3500 A.C.	<p>PALEOLÍTICO</p> <p>Por medio de las culturas sedentarias se manifiestan las primeras manifestaciones arquitectónicas a través de estructuras de megalitos algunas de piedra de cantera Surge el Dolmen y los Menhires en la arquitectura funeraria.</p>	<p>DOLMEN</p> 	<p>MENHIERS</p> 
	<p>MESOPOTAMIA 3,000 A.C.</p> <p>La arquitectura que se manifiesta en esta civilización utiliza como material el ladrillo de barro cocido y azulejos mortero cal - arena realiza construcciones de templos religiosos en forma de pirámides truncas escalonadas.</p>	<p>Gran Zigurat o Etemenank</p> 	<p>Puerta de Ishtar</p> 
HISTÓRICA 3,000 A.C. - 476 D.C.	<p>EGIPTO 3,500 A.C.</p> <p>Se crean estilos arquitectónicos como capullo, flor abierta palmiforma y Hathórico y se utilizan piedras de cantera, adobes, ladrillos argamasas, morteros y estucos en base de cal - arena y en algunos yeso.</p>	<p>COLUMNA PALMIFORMA</p> 	<p>COLUMNA HATHÓRICO</p> 
	<p>GRECIA Y ROMA 2000 A.C. - 476 D.C.</p> <p>Se Desarrollan los estilos Dórico, Jónico y Córintio denominados estilos Clásicos; la utilización de materiales como piedra caliza, marmol y piedra volcanica de la región se utiliza columnas y arquivadas además de muros de carga de materiales de ladrillo y morteros de base cal-arena.</p>	<p>PARTENON</p> 	<p>COLISEO ROMANO</p> 



<p>MEDIEVAL 100 - 1,500 D.C.</p>	<p>PALEOCRISTIANA 100 -330 D.C.</p> <p>Los materiales de construcción es la piedra caliza, marmol y piedra volcanica, ceramica, ladrillo, morteros de base cal-arena, madera.</p>		
	<p>BIZANTINO 330 - 1,000 D.C.</p> <p>La arquitectura se realiza en el centro de la religión católica; utilizando planta cuadrada en el centro una cúpula con un tambor, pechinas y columnas como sistema constructivo se desplazan las cubiertas planas. materiales de tabique rojo en muros de carga; utilización de morteros base cal.</p>	<p style="text-align: center;">SANTA SOFIA</p>	<p style="text-align: center;">SISTEMA CONSTRUCTIVO</p>
	<p>ROMÁNICA 1,000 - 1000 D.C.</p> <p>Materiales de Piedra, Ladrillo, mortero base cal-arena, yeso, madera, Marmol y Teja. se utilizan para los espacios de arquitectónicos y aparecen el Abside y la torre como parte del diseño de la planta rectangular.</p>	<p style="text-align: center;">San Martin de Frómista</p>	<p style="text-align: center;">TORRE DE PISA</p>
	<p>GÓTICO 1100 - 1500 D.C.</p> <p>Nace en francia; denomidao el estilo de la arquitectura luz: Los materiales utilizados es el vidrio en forma de vitral, piedra, ladrillo, mortero a base de cal -arena, madra y marmol que permiten desarrollar una arquitectura alta y esbelta con el sistema constructivo en bovedas, arcos, columnas, arbotantes, contrafuertes y pinaculos.</p>	<p style="text-align: center;">SANTA SOFIA</p>	<p style="text-align: center;">SISTEMA CONSTRUCTIVO</p>



<p>RENACIMIENTO 1500 - 1600 D.C.</p>	<p>Se manifiesta en la naturaleza de que todo es perfecto y en el humanismo. Se vuelven a utilizar los estilos greco- romanos; de la época clásica con materiales ladrillo, mortero base cal, yeso, madera, mármol, metal y teja.</p>	<p>Iglesia de San Lorenzo</p> 	<p>IGLESIA DE SAN PEDRO</p> 
<p>BARROCO 1600 - 1700 D.C.</p>	<p>Omamentación saturada La omamentación a través de frutos y vegetales en elementos decorativos en fachadas de los inmuebles arquitectónicos. Materiales de Piedra, Ladrillo, mortero base cal-arena, yeso, madera, Mármol, metal y Teja.</p>	<p>El Escorial Palacio de los Borbones</p> 	<p>RETABLO BARROCO</p> 
<p>NEOCLÁSICO 1700 - 1800 D.C.</p>	<p>La omamentación a través de frutos y vegetales en elementos decorativos en fachadas de los inmuebles arquitectónicos. Renacer del hombre. Materiales de Piedra, Ladrillo, mortero base cal-arena, yeso, madera, Mármol, metal y Teja.</p>	<p>PALACIO DE DIPUTADOS EN ESPAÑA</p> 	<p>FUERTA DE ALCALA -ESPAÑA</p> 
<p>ÉPOCA INDUSTRIAL 1800 - 1900 D.C.</p>	<p>La arquitectura realiza adelantos tecnológicos utiliza materiales como el cristal, acero y concreto se empieza por desplazar la utilización de la piedra, maedra, cal, yeso en la edificación; se da paso a sistemas prefabricados.</p>	<p>TORRE EFTEL</p> 	<p>The Exhibition of the Crystal Palace, London</p> 



Es importante mencionar que el soporte físico de la arquitectura es la construcción, y ésta a su vez tiene que ver con los materiales de fábrica, los cuales en tratados de arquitectura desde Vitrubio (padre de la arquitectura antigua), han estado presentes, describiendo su uso y cualidades. Incluso nuevos tratados constructivos en la época medieval, y el renacimiento, describe para el caso de la cal, desde como seleccionar el manto rocoso, hasta su elaboración para una buena ejecución en obra. Con el fin de conocer la manera en que se refieren a la cal en estos importantes documento, mencionaremos algunas citas empezando con el Tratado “Arte y Uso de la Arquitectura” de Fray Laurencio de San Nicolás de 1639, de 1761 “Los diez libros de Arquitectura” de Marco Lucio Vitrubio, traducido por Agustín Blánquez; de 1797 “Los Quatro Libros de Arquitectura” de Andrea Vicentino Paladio, y el “Diccionario de Arquitectura Civil” de Bail Benito, los cuales se enuncian a continuación:

“Cal: Se hace de piedras blancas o guijarros; pero la mejor para la Mampostería es la que se hace de la piedra más dura. La que se hace de Piedra esponjosa es propia para enlucidos”.⁶

“Cal: La piedra para la cal se saca de los montes o se recoge de los ríos. Toda piedra de monte es buena para cal cuando esté seca, sea frágil, y no contenga otra materia, que consumida por el fuego minore su volumen. Así será mejor cal la de piedra durísima, compacta y blanca; y que después de cocida pierda solo la tercera parte del peso que la piedra tenía antes. Hay también algunas piedras esponjosas cuya cal es buena para revocos. En los montes de Padua se saca cierta piedra escamosa o sea escabrosa cuya cal es excelente para las obras al descubierto y en el agua, porque se fragua y endurece y dura mucho tiempo. De la piedra para cal es mejor la sacada de las canteras, que no la muerta recogida de los campos o montes: mejor la de cantera sobrias y húmedas que la de áridas y finalmente, mejor la piedra blanca que la morena. Las piedras recogidas de los ríos y torrentes o sea guijarros rodados hacen buena cal que da una labor blanca y limpia y es excelente para revocos”.⁷

“Cal: Piedra quemada en un horno, la qual después de apagada o azogada sirve para hacer mezcla o blanqueos. Lo mismo que MEZCLA Ó MORTERO. La CAL VIVA. La que, está en forma de terrones sin deshacer ó mojar, conforme sale de la calera, ó hierve quando le moja o echa agua”.⁸

“Cal: Muchas son las diferencias de piedras de donde se hace cal Vitrubio dize que la buena cal ha de ser de pedernal por ser piedra más dura y sólida; comúnmente la piedra mejor es una blanca y muy pesada y fuertes y así sale la cal para los edificios; la piedra arenisca, granigorda no es buena para cal”.⁹

⁶ Vitruvio Marco Lucio (traducido por blánquez Agustín) “Los diez libros de Arquitectura”, Pág. 45.

⁷ Paladio Vicentino Andrés (traducido por Ortiz y Sanz Josphe FRANCISCO) “Los Quatro Libros de Arquitectura”, Pág. 25.

⁸ Bail Benito, “Diccionario de Arquitectura Civil”, Pag. 20.

⁹ Fr. Laurencio de S. Nicolás, “Arte y Uso de la Arquitectura”, Pag.22.



Es así que este conocimiento de la cal no era solo empírico, sino que tanto un maestro de obra como un arquitecto, deberían saber las cualidades de diferentes materiales que intervienen en la construcción de una obra arquitectónica, y este conocimiento estaba sustentado en los libros de los tratadistas, llegando a América en 1521 cuando se consuma la conquista de México-Tenochtitlan. Cuando se da el mestizaje, este no implica solo la integración de razas, sino también, los conocimientos culturales, donde por ende la actividad constructiva es una de las manifestaciones más importantes, prueba de ello son los conventos, monasterios, iglesias, y catedrales, que servirán a la actividad evangelizadora de la población del nuevo territorio conquistado. Es así, que la fusión de las dos culturas, trae la experiencia constructiva, y la utilización de la cal en la construcción.

2.1.2.- Antecedentes en México.

Para entender con claridad el tema de la **cal** en México, es necesario empezar de lo general a lo particular es así que por la debida inmensidad del continente americano, y la variedad de culturas nativas que hubo, se encuentran importantes manifestaciones materiales en el continente Americano, sus orígenes, parte de la teoría de inmigraciones en sucesivas oleadas a partir del continente de Beringia (continente congelado), desde hace 40 mil años. Particularmente en México la zona cultural se denomina Mesoamérica y se extiende desde río de Sinaloa en el noroeste de México y las cuencas de los ríos Lerma y Soto la Marina en la costa del Golfo, teniendo actualmente frontera con Belice, Honduras y Guatemala.

Los Periodos de evolución de estas civilizaciones asentadas en Mesoamérica son los siguientes:

- Periodo Paleoindio (40000-8000 A.C.) Destaca el arte de la caza de grandes animales y la recolección de vegetales comestible. Se tiene una vida nómada.
- Periodo Arcaico (8000 – 2500 A.C.) Destaca por cambios ambientales y extinción de algunas especies; la actividad sigue siendo la caza, la recolección y la pesca.
- Periodo Formativo o Preclásico (2500-100 D.C.) Se empieza con el desarrollo de la agricultura, lo que produjo aumento de la población y concentro grandes poblados originando la vida sedentaria.
- Periodo Clásico (100-900 D.C.) Se contempla la aparición de grandes centros urbanos y verdaderas metrópolis.
- Periodo Postclásico (900-1500 D.C.) Es el periodo de los grandes reinos, confederaciones o imperios se manifiestan el desarrollo de las más importantes culturas y sus artes.



MAPA 3: Representación Gráfica estrecho de Bering.

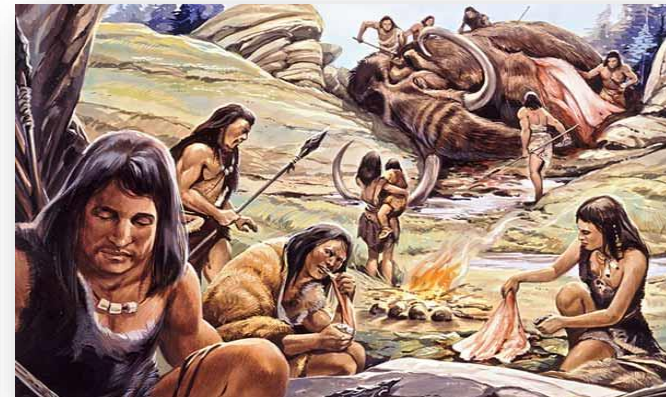


IMAGEN 63: Representación de las culturas americanas en el Periodo Paleolítico.

En Mesoamérica los comienzos de los primeros asentamientos formativos se sitúan hacia el 2500 A.C. y se caracteriza por el comienzo de las primeras aldeas con una base agrícola, logrando así la formación de poblados y las primeras civilizaciones, surgiendo en el 1200 A.C. la civilización Olmeca, considerada como la civilización madre de las culturas Mesoamérica. Esta cultura desarrolla los primeros asentamiento y los primeros centros ceremoniales, los primeros templos ceremoniales, adoratorios y viviendas que van a estar constituidos por materiales de piedra con aglomerantes de barro, cal, paja, estiércol, barro y en algunos casos rajueleo. La nobleza de la técnica constructiva ha permitido en ciertos casos la supervivencia centenaria de algunos edificios.



Mapa 4: Imagen de representación de Mesoamérica.



Imagen 64: Cultura Olmeca.



En el área de Mesoamérica las culturas prehispánicas más importantes que se desarrollaron fueron las siguientes:

- Cultura Olmeca.
- Cultura Tolteca.
 - Cultura Totonaca.
 - Cultura Zapoteca.
 - Cultura Teotihuacana.
 - Cultura Cholteca.
 - Cultura Maya.
 - Cultura Tlaxcalteca.
 - Cultura Azteca.



Mapa 5. Territorio mesoamericano, y civilizaciones más representativas que se ubicaron en dicho territorio



Las manifestaciones materiales estuvieron determinadas por su concepción de la vida, su desarrollo, y el medio en que se encontraban, el cual les proveyó de los materiales necesarios para su materialización. Algunos ejemplos representativos de cada cultura se presentan a continuación:



Imagen 65. Cultura Olmeca



Imagen 66. Cultura Tolteca



Imagen 65. Cultura Totonaca



Imagen 68: Cultura Zapoteca.



Imagen 69: Cultura Teotihuacana.



Imagen 70: Cultura Maya.

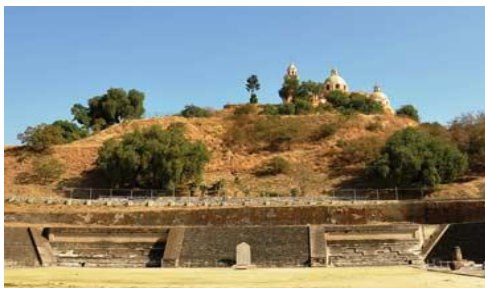


Imagen 71: Cultura Cholulteca.



Imagen 72: Cultura Tlaxcalteca.



Imagen 73: Cultura Azteca.



Todas estas culturas anteriormente mencionadas, tienen algo en común con el tema de este trabajo, y es que utilizaron el material de la **cal** en su vida cotidiana, tanto en la construcción de templos en el pegado de mamposteos, como en la elaboración de estucos, aplanados, pegado de cuadrado como piso en los espacios arquitectónicos, también se usa en pintura mural, encalados, y hasta con fines ceremoniales; Además como en el aspecto alimenticio en la nixtamalización del maíz, que es el alimento primario de estas civilizaciones y del pueblo mexicano.

La **cal** fue empleada como material constructivo en la gran mayoría de las culturas mesoamericanas. Sin embargo, a pesar de ser un material fundamental en la arquitectura prehispánica y de jugar un papel primordial en el desarrollo de estas civilizaciones, la investigación en la arqueología mesoamericana ha mostrado poco interés en estos materiales. Actualmente sabemos que se inició la explotación de caliza desde el 2,500 a.C. y que mientras Teotihuacán estuvo en su apogeo, se utilizó ampliamente este material, no obstante se intensificó su uso del 850 al 1,200 d.C. Mención especial merece lo que **Hernando Ruiz de Alarcón (1629) describió del quemado de la cal en comunidades nahuas de las tierras altas de México, en donde se conjuraba al viento y al fuego para que naciera la mujer blanca, yztac cihuatl o iztaccihuatl, la personificación de la cal.**

Los sitios arqueológicos han reportado el uso temprano de la cal en la arquitectura mesoamericana, así los estudios tienen la finalidad de entender y comprender que esta tecnología fue inventada y posteriormente difundida a las distintas regiones de México y Centroamérica. Con base a los estudios y análisis, se establece que las tierras bajas mayas, el valle de Oaxaca y la región de Puebla-Tlaxcala, constituyen las tres zonas con el uso más temprano de la **cal**; por lo tanto, son las dos primeras zonas donde probablemente surgió esta tecnología de manera independiente.

La producción de cal requiere del entendimiento empírico de las transformaciones que sufre el material calcáreo durante su producción, así como también del dominio del fuego y de la obtención y control de altas temperaturas para lograr alta eficiencia en los cambios químicos que se llevan a cabo durante la calcinación. Debido al tiempo de exposición y a las altas temperaturas que requiere este material, la producción de cal es una actividad demandante de combustible y fuerza laboral, especialmente cuando se utiliza en grandes cantidades en arquitectura monumental.

Gran parte de los acabados arquitectónicos prehispánicos, especialmente aquellos de arquitectura pública y residencial de élite, fueron hechos con aplanados de cal. Estos materiales están constituidos por mezclas de cal y materiales agregados, los que forman pastas plásticas que se aplican como morteros de rejunteo o como aplanados o relieves en la arquitectura. Estos materiales de cal aportan características visuales y de protección específicas, y se conservan muy bien en el registro arqueológico. Los aplanados de cal en la arquitectura favorecieron también el desarrollo de las expresiones pictóricas en muchos sitios, especialmente la pintura mural, los agregados son los materiales inertes que se mezclan con la cal apagada para posteriormente ser aplicados sobre superficies



arquitectónicas. Estos materiales inertes suelen ser arenas y gravas locales de diversas mineralogías, pues proporcionan la superficie ideal en términos de aspecto y durabilidad para la expresión visual.

Una característica peculiar de los materiales constructivos a base de cal es que, debido a que tienen que ser aplicados *in situ*, forzosamente requieren de la adopción de tecnologías por parte de la población local, aun cuando en ocasiones las materias primas son importadas de otras localidades, como en el caso de Teotihuacán, que se describe posteriormente. Esto contrasta con otros materiales arqueológicos, como la cerámica, que no necesariamente fueron manufacturados en los sitios de donde han sido recuperados en excavación. Esto implica que los materiales de cal sean mejores indicadores del conocimiento tecnológico local que la mayoría de los materiales arqueológicos.

En cuanto a la cultura azteca, lo más importante de resaltar en su arquitectura es su sistema constructivo, ya que como conocemos por la historia y de las evidencias que la antropología ofrece, sabemos que esta cultura fundó su civilización en medio del lago de Texcoco en el año del 1325 D.C., así surge la ciudad de Tenochtitlan, capital del imperio azteca, y donde hoy se encuentra la capital de nuestro país. Dentro de las obras arquitectónicas más representativas de ese tiempo, destaca el Templo mayor, dedicado a la deidad de HUITZILOPOCHTLI.

“El sistema constructivo del objeto arquitectónico consiste en su cimentación a través de pilotes que eran estacas de madera de cedro y mezquite (que son idóneas para resistir los embates de la humedad que produce el manto freático del subsuelo) de 10 metros de longitud, y 10 centímetros de diámetro. Estos pilotes tenían la función de compactar adecuadamente el terreno, y permitían que sobre ellos se pudiera levantar el edificio; cuando estuvieran listos todos los pilotes, se procedió a construir sobre estos una cama de piedra con mortero de 50 cms de altura”.¹⁰

Cada uno de los muros en talud tenía una altura de 8 metros, y se construían con bloques de piedra unidos con capas de mortero. Cabe señalar que el mortero empleado por los aztecas, era una mezcla de arena volcánica, lodo y cal, con pequeñas piedras de tezontle, los muros se cubrían para darle mayor cohesión, y se conseguía además, reducir la superficie de mortero expuesta al exterior. “Así el recubrimiento del templo se cubrió con una capa de aplanado de 10 cms de espesor que servía para emparejar la superficie exterior una vez recubierto el basamento con el aplanado, se inició el acabado final con una capa de estuco y era la base para la pintura mural que decoraría algunas partes del templo. Los antiguos adoratorios, se cubrieron con el desplante de muros de piedra y mortero y con adobe”.¹¹

¹⁰ Antonio Reina, Claudia Teresa. “Templo Mayor” Pag.20.

¹¹ Ibidem., Pag.25.

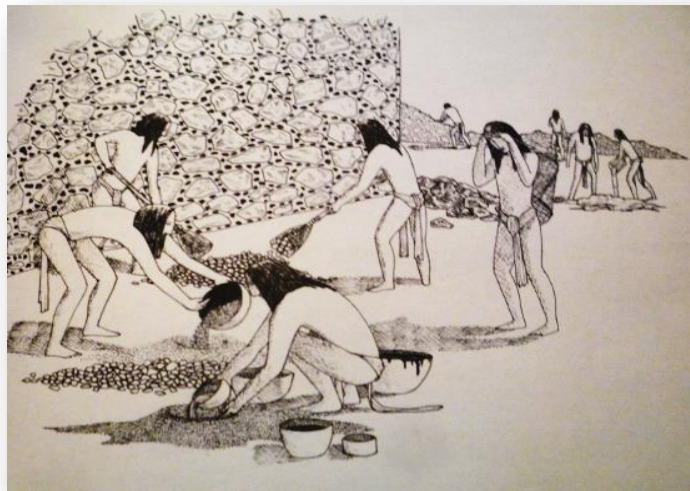


Imagen 74: Sistema constructivo de muro de mampostería de Piedra.



Imagen 75: Aplicación de Aplanado de CAL-ARENA en muro de mampostería.

Es importante mencionar que en el siglo XVI con la presencia española en Mesoamérica, surgirá el fenómeno conocido como mestizaje, y una de las primeras tareas de los conquistadores fue la conquista espiritual, además de la conquista militar. La evangelización de los pueblos de Mesoamérica, tuvo la necesidad de construir inmuebles arquitectónicos religiosos, así que se tuvo que capacitar, supervisar y documentar los materiales ocupados para esta faenas, y entre estos materiales destaca la **cal**, misma que está presente en la materialización de estas construcciones. Así encontramos que la **cal** es nombrada en el caso del autor George Kubler George en su libro “La arquitectura mexicana del siglo XVI”, de la siguiente manera:

La cal era indispensable en los grandes proyectos de aquel periodo por ejemplo en la iglesia de Santo Domingo, en la ciudad de México la cal se extrajo de Zumpango aunque la mayoría de la cal usada en la capital provenía de Calpulalpan especialmente hacia



finales del siglo XVI”¹². Del dicho anterior, podemos establecer que la materia prima era necesaria y se tenía definido los sitios donde abastecerse, y la calidad de los mismos.

También se sabe que “El pueblo de Cuitzeo estaba localizado sobre un depósito de cal. Pese a todo el alto costo de la cal influyó considerablemente en el estilo arquitectónico a mediados del siglo”¹³, lo que significa que la cotización del material influyó en la materialización de las obras arquitectónicas.

Incluso “Hacia finales del siglo, parece que el precio de la cal sufrió una caída, Una carretada de cal costaba treinta pesos en 1598, en Izhuatepec”¹⁴, sin duda el material tal como ahora, depende de la oferta y la demanda.

“En la ciudad de México se dieron caso de indios que por falta de supervisión, mezclaron la argamasa con cenizas en lugar de cal, lo cual provocó que en 1538 se nombrara un inspector encargado únicamente de supervisar la elaboración de la argamasa”¹⁵, lo que denota el interés e importancia de la fabricación del material, el cual debería ser de calidad.

Otras referencias señalan que: “Bajo la dirección de Fernando Ixtlilxóchitl, que trabajo como albañil, supervisando al mismo tiempo a sus trabajadores; aun los nobles de su reino compartieron el trabajo de acarreo de piedras, cal y arena para la construcción de establecimiento franciscano en la capital.”¹⁶ Es decir que el material estuvo presente en las obras de ese período.

Entre los siglos XVII y XVIII, la construcción de inmuebles arquitectónicos en la Nueva España tuvo también gran relevancia el uso de la cal, tal como lo refiere Alberto Gonzales Avellaneda, que en su libro ‘Manual Técnico de Procedimientos para la Rehabilitación de Monumentos Históricos del Distrito Federal’, redacta sobre la cal, y preparación para su uso en obra, a continuación se extrae algunos párrafos de dicho texto:

Cal: Toma el nombre de cal viva (óxido de calcio). La preparación de las mezclas de cal exige la hidratación de esta substancia hasta formar con ello una pasta y en ciertos casos, solo un polvo; esta operación se le llama extinguir o apagar la cal. Para ello se pueden seguir varios métodos:

- a) Extensión ordinaria.- Se hace una artesa en la cual se vierte la cal en piedra, se le agrega agua batiendo con un rastillo; se deja reposar la pasta unas 48 horas como mínimo. Las cales grasas rinden de 2 a 3 ½ volúmenes por cada uno de cal viva

¹² Kubler Gerge, “Arquitectura Mexicana del siglo XVI”, Pág. 170.

¹³ Kubler George, Op. Cit., Pág. 171.

¹⁴ Ibidem., Pág. 171.

¹⁵ Kubler George. Op. Cit., Pág. 152.

¹⁶ Ibidem., Pág. 153.



empleada, y las magras e hidráulicas de 1 a 1½ volúmenes. Para su uso deberá pasar por un cribado previo, que elimine impurezas y grumos.

- b) Extensión por aspersión o inmersión.- Consiste en agregar a la cal la cantidad de agua necesaria para su hidratación, pero sin dejar que llegue a formarse una pasta.¹⁷

Así mismo tenemos 2 tipos de cal que son:

Cal área: Es una cal que se endurece al aire, por la absorción del ácido carbónico de la atmósfera que forma una combinación de hidrato y carbonato de calcio. Dependiendo de la pureza de la roca caliza se obtienen cales de diversas calidades.

Cal Hidráulica: Se endurece tanto al aire como bajo la acción del agua o de la humedad. Estas se obtienen a partir de rocas calizas arcillosas, es decir, que contienen sílice y alúmina; hay menos desprendimiento de calor teniendo un fraguado lento.¹⁸

¹⁷ Gonzales Avellaneda Albert, et. al., “Manual Técnico de Procedimientos para la Rehabilitación de Monumentos Históricos del Distrito Federal”, Pág.48.

¹⁸ Idem.



Imagen 76: Claustro del ex convento de san Agustín en la Ciudad de Querétaro.



Imagen 77: Ex convento de santo domingo en Oaxaca; Oaxaca.

En el siglo XIX con los avances constructivos surgidos en Europa y con la influencia que tuvo en la época del porfiriato Francia, se empezaron a utilizar materiales más modernos que fueron revolucionando los sistemas constructivos, es así que se hace uso no solamente de los sistemas constructivos tradicionales, sino sistema constructivos mixtos (el empleo de los materiales tradicionales con los prefabricados). Un ejemplo de este caso, se tiene en el proyecto del Palacio de Hierro en la ciudad de México, en donde se realiza un sistema constructivo mixto utilizando mamposteo de piedra unida con mortero de cal-arena, y sobre el cimienton montaron un sistema de rieles que es actualmente un sistema de cadena de repartición.

Aun así, los materiales utilizados en los siglos posteriores no fueron desplazados en su totalidad, incluso la cal se sigue empleando, tal como nos describe Israel Katzman en su libro "Arquitectura del Siglo XIX en México", donde señala en algunos párrafos del texto lo siguiente:



“En las obras más importantes los muros se hicieron o recubrieron con muchas variedades de piedras ígneas y metamórficas. De acuerdo con la constitución de las piedras se usaron aparejos irregulares o regulares en los muros recubrimientos y casi exclusivamente aparejos regulares en los de piedra visible. Tanto en los de piedra como en los de tabique se usó el mortero de cal”.¹⁹

También se sabe que “En Aguascalientes, la llamada tableta (tejamanil) y en Yucatán, un conglomerado de cal y sahcab (nombre que significa tierra blanca) formaban parte de la cubierta envigada. En techos exteriores el relleno servía como hoy para formar las pendientes y se recubría con ladrillos que finalmente eran sellados con cal”.²⁰

Incluso, “El material más empleado en las bóvedas es la piedra; muchas veces el tezontle por su ligereza. No se dejaban aparentes, entre otras razones porque los aparejos no se hacían con minuciosidad de estereotomía, sino con piedras variadas y abundante mortero de cal-arena”.²¹ Lo que permitía cubrir cualquier oquedad.

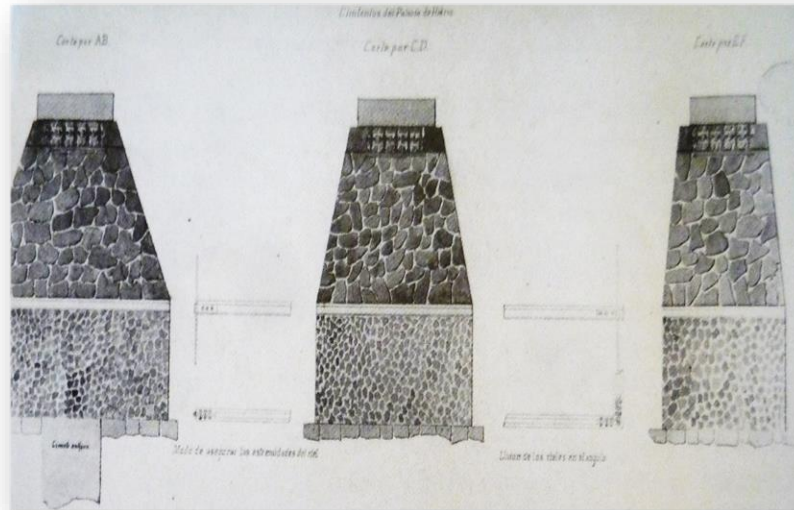


Imagen 78: Cimientos del Palacio de Hierro. Arquitectos Ignacio y Eusebio de Hidalgo. México D.F.

¹⁹ Katzman Israel, “Arquitectura del siglo XIX en México”, Pág. 315.

²⁰ Ibidem., Pág. 318.

²¹ Katzman Israel. Op. Cit., Pág. 323.



Cabe señalar que “El aplanado de cal y arena se utilizó frecuentemente para recubrir muros y retablos de piedra”.²²

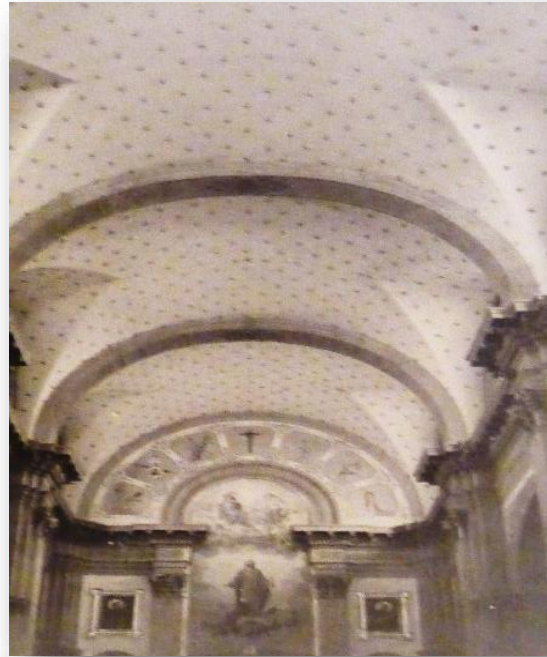


Imagen 79: Iglesia de San José del Ranchito. Toluca Mex. 1885-1894; Bóvedas de cañón con arcos fajones y lunetos.

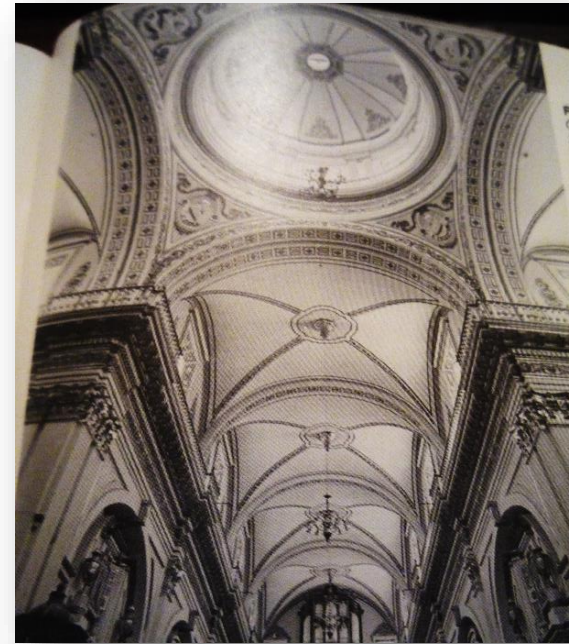


Imagen 80: Iglesia del Carmen. Arquitecto Francisco E. Tresguerras, Celaya, Gto. 1802-1807.

Podemos establecer que en todo el siglo XX, y principios del siglo XXI, la cal sigue siendo un material que se emplea para estabilizaciones y mejoramientos de suelos, junteos de mamposteos de cimientos y muros (divisorios y de carga), además su utilización es en repellados (gruesos y finos), en pinturas, pastas y para todo tipo de intervenciones de monumentos históricos. Su utilización en este principio de siglo XXI va siendo remplazada por la utilización del mortero a base de cemento por la mala información del profesionista técnico, ya que si conociera sus bondades Intrínsecas y Extrínsecas, reconocería su valor económico, rendimiento y menor desperdicio en obra como se comentó en el capítulo uno del trabajo. Por eso, es de suma importancia para el especialista en

²² Ibidem., Pág. 330.



restauración, conocer sus beneficios y no descartarlo en su utilización dentro del ramo de la conservación y/o restauración de bienes inmuebles, ya que incluso el material está presente en la fábrica.

A continuación se muestran algunos ejemplos de la utilización de la cal en morteros de albañilería en las construcciones contemporáneas, para establecer su uso hoy día.



Imagen 81: Casa de medio Residencial con Repellados de cal- cemento – arena en el municipio de Cuautlancingo, Puebla.



Imagen 82: Casa de medio Residencial con Repellados de cal- cemento – arena en el municipio de San Andrés Cholula; Puebla.



2.1.2.1 En Puebla.

Para hablar de la utilización de la cal en la ciudad de Puebla es necesario hablar de la fundación de esta; porque con la solicitud de construir una nueva ciudad como paso intermedio entre la ciudad de México y el Puerto de Veracruz en la nueva España, el asentamiento viene acompañado de la necesidad de construir innumerables inmuebles arquitectónicos de acuerdo a las necesidades que se tenía en esos momentos, para ello, los materiales y la mano de obra de la región fueron determinantes. El medio natural proveía de materiales, y la numerosa población indígena de la fuerza de trabajo. En cuanto al material, cabe señalar que este se extrajo de las canteras más cercanas de la ciudad, como es el caso del actual cerro de Loreto y Guadalupe, además del cerro que hoy constituye el fraccionamiento de la Calera, solo por mencionar los más importantes. Sobre la mano de obra, esta fue producto de las poblaciones cercanas como las tres Cholula, Huejotzingo, Tlaxcalteca, Amozoc y Tepeaca por mencionar algunas. Poblaciones todas, acostumbradas a la utilización de la cal como aglomerante en los mampuestos de piedra. Sobre la fundación de la ciudad, algunas referencias históricas mencionan lo siguiente:

El domingo 16 de abril de 1531, fue fundada por Fray Toribio de Benavente por primera vez fue fundada la Ciudad de Puebla, Se sabe que en ese año las lluvias abundantes provocaron que las calles se enlodaran y empantanaran por lo que se realizó una Segunda Fundación de la Ciudad el 29 de Septiembre de 1531 al margen poniente del río de San Francisco teniendo una orientación de 24 grados NE-SO.² Las características Topográficas del nuevo terreno permitieron el trazado de la ciudad en forma de Damero (Modelo Clásico que es la expresión de los mejores logros del humanismo renacentistas y de la civilización azteca.) dando así una cuadrícula uniforme, regular y con calles alineadas geométricamente. Las manzanas eran idénticas en dimensiones (doscientas varas de largo por cien de ancho), así toma la forma rectangular; cada una de ellas tuvo ocho solares de cincuenta por cincuenta varas. El largo de estas cuerdas iba de oriente a poniente y el ancho de norte a sur. Del Vértice norponiente de la plaza mayor, parten ejes cartesianos que forman dos avenidas principales dividiendo a la ciudad en cuatro sectores, entre 1533 y 1534 se Desarrolla la traza urbana definitiva que actualmente hoy conocemos²³ (Ver Plano I).

Lo que se puede inferir de la referencia, es que la fundación de la ciudad de Puebla, no fue un asentamiento fundado al azar, sino una estrategia bien planeada, que se vería desarrollada en muy poco tiempo. Incluso, otra referencia describe lo escrupuloso del trazado y conformación del asentamiento, cuando dice que:

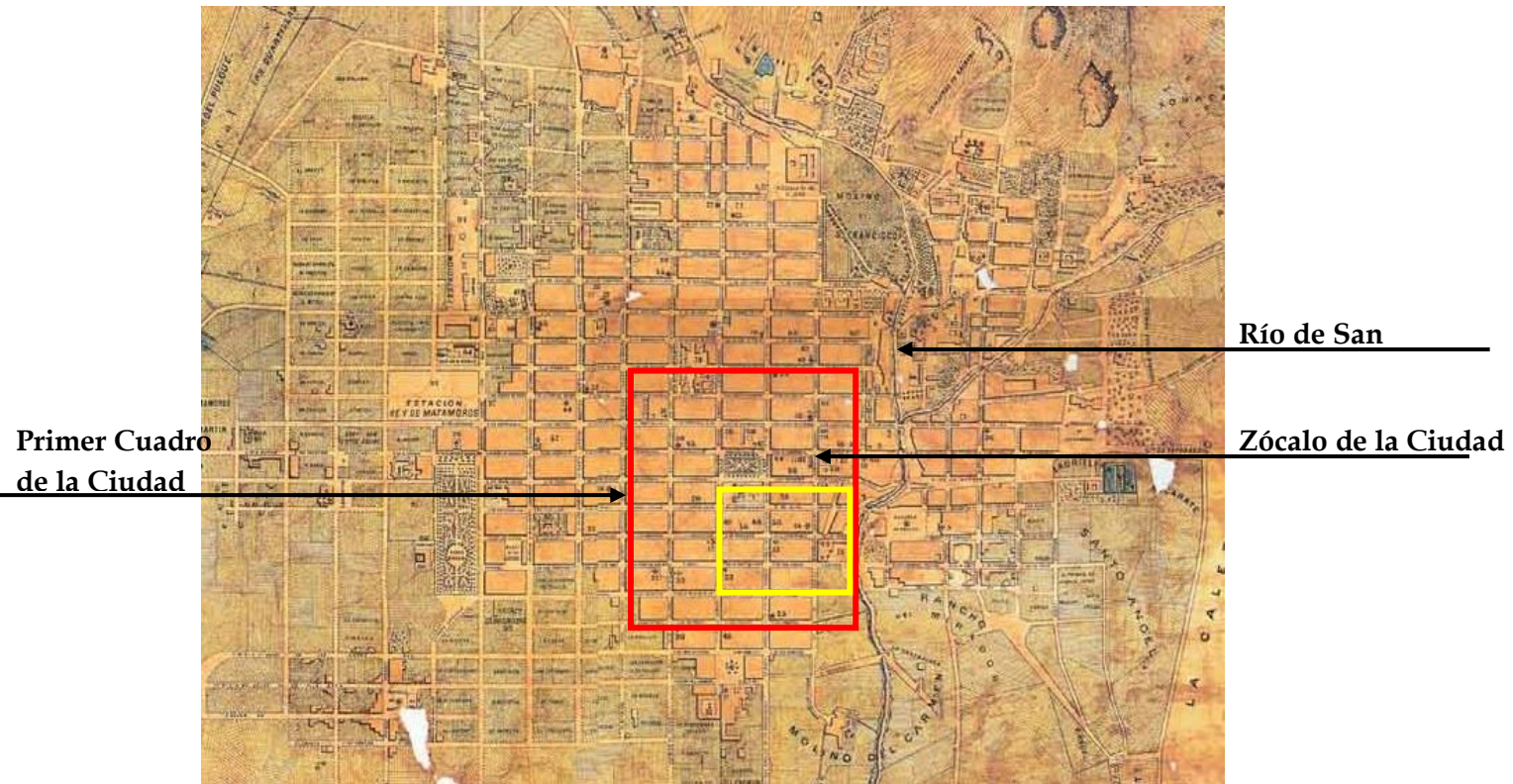
En el trazo inicial se consideran 420 manzanas, 295 para residencias y 125 para huertas, quintas y sembraduras, distribuidas en cuatro direcciones cardinales, en 20 cuadros en cada dirección; al principio sólo se formó este número de

²³ Flores González Sergio, "Políticas para el Desarrollo de los Centros Históricos de México", p.109.



norte a sur, faltando pocas de este a oeste para llegar a los Veinte. El esquema geométrico del modelo distributivo y ordenador consiste en el cruce axial de las calles – ejes principales al centro del emparrillado manzanar, una siguiente franja regular para el uso agrícola y una última circundante para los indígenas avecinados. El primer cuadro lo habría de ocupar la Plaza mayor o Plaza de Armas, con dimensiones mayores a las restantes al incluir secciones de calles laterales²⁴.

La ciudad quedaría así establecida, y una intensa campaña constructiva, le haría ser en poco tiempo, la segunda ciudad de la Nueva España



PLANO I: Ciudad de Puebla de los Ángeles de 1532; Fuente: Patrimonio Arquitectónico de Obras Públicas del H. Ayuntamiento de Puebla.

²⁴ Ibidem, p.110.



Es así que “A partir de la mitad del siglo XVII, la ciudad de Puebla vivió una transformación a lo largo de las principales calles de la ciudad y en las aledañas a la Plaza Mayor, se continúan construyendo edificios de dos y en algunos casos hasta tres niveles y entresuelos; las casas construidas en el siglo XVIII, contienen en sus fachadas elementos barrocos muy fáciles de reconocer y a que podemos observar la **argamasa** (*Mezcla de cal, arena y agua que se utiliza en la albañilería; así también se realiza de cal, arenilla y rocallas*)”²⁵, además permite formar “... repisas y molduras que inciden con gran atrevimiento en la tercera dimensión, provocando amplios contrastes de luces brillantes: el blanco natural de la argamasa, contra profundas sombras y las libertades del uso del **estuco** (*Masa de yeso, agua de cola y aceite de linaza que se aplica espeso como revestimiento decorativo; una vez que se endurece puede labrarse o pintarse ; también existe estuco de mármol pasta de cemento, cal o yeso y mármol pulverizado además de un colorante que se utilizaba como imitación de mármol*)”²⁶ en la composición de elementos manieristas. Otra técnica aplicada es el uso del azulejo vidriado que la conocemos comúnmente como ‘talavera poblana’ (generalmente es un azulejo multicolor y con formas dibujadas en ella), utilizada especialmente en las fachadas de los Inmuebles, que iba acompañada generalmente por ladrillo de barro horneado que hace las veces de pantalla de fondo. Esto mismo sucede en el siglo XIX donde en el estilo neoclásico, se utiliza la argamasa en la decoración de las fachadas, mientras que en las decoraciones de interiores se utilizaba el estuco; así que la cal no solo se ocupaba en la edificación del inmueble sino también en sus acabos.

Para tener una idea completa de las obras, debemos señalar que otro material utilizado profusamente, es la piedra de cantera gris, tanto en rodapié, como en los enmarcamientos de portadas en los accesos principales del inmueble para dar un efecto cromático en las fachadas, la utilización de herrería de forja en balcones, escaleras y barandales es un elemento más que aporta gran significación a la composición arquitectónico, lo mismo sucede con las gárgolas de piedra de cantera, que permite el desagüe de la azoteas. Una cualidad importante de los inmuebles, es la armonía en cuanto al volumen de las construcciones en las que dominaba la horizontalidad, ya que existe predominio del macizo sobre el vano; las ventanas se encuentran distribuidas rítmicamente de manera armónica, y los cerramientos son elaborados a base de platabandas y dinteles, los cuales se diseñan de manera proporcional.

En cuanto a la extracción y aplicación de la cal en la ciudad de Puebla y sus alrededores, Kubler en su texto referido con anterioridad señala: “*En Puebla también estuvo rodeada de fuentes ricas en materiales para la construcción: dentro de los límites de la ciudad, se encontraba fácilmente cal, barro y piedra. En las excavaciones de los cimientos se encontraban algunos materiales, principalmente piedra caliza (carbonato de calcio) que se endurecía en el momento de extraerse y otros más duros, propios para la columna, dinteles y molduras*”²⁷

²⁵ Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, “Vocabulario Arquitectónico Ilustrado”, Pág. 42.

²⁶ Ibidem, Pág. 214.

²⁷ Kubler George. Op. Cit., Pág. 168.



También menciona que: “La cal fina para el estuco provenía de Cuzcatlan al sur de Puebla. Este material era muy codiciado para el recubrimiento de pisos de algunas iglesias, como en San Gabriel de Cholula, en donde se pavimento todo el atrio con estuco rojo pulido según costumbre prehispánica”.²⁸ Esta referencia, permite establecer el uso del material desde tiempos anteriores a la llegada de los españoles, y su uso posterior.

Más adelante, sus referencias mencionan que: “Fuera de la ciudad de México, varias ciudades en construcción tuvieron que localizar sus depósitos de cal. En Puebla, hacia 1544 había depósitos y hornos de cal en las inmediaciones de la ciudad.”²⁹ De lo dicho, podemos deducir que rápidamente proliferó el uso de la cal, al grado de haber varios depósitos en la ciudad y cercana a ella.

Así también, nos comenta Dirk Bühler en su libro ‘Puebla Patrimonio civil del virreinato’, sobre la extracción de la cal y la localización de las canteras dentro de la ciudad de Puebla que se explica a continuación:

“La cal, un material de los más escasos y por lo tanto más solicitados y caros en la capital, estaba presente con exceso en Puebla. Los emplazamientos más importantes se encontraban al norte de la ciudad (Fernández de Echeverría y Veytia, 1962 Vol. 1 p.228 en el plano de 1698) Ver plano II; fomentando así la creación de hornos de cal en dicha región. La cal de Puebla no solo se utilizaba en las construcciones de la propia ciudad, sino en toda la región colindante y no se debía al hecho de que en los otros lugares no hubiera suficiente cal, sino porque no había hornos. La ciudad de Puebla debe haber ejercido una cierta influencia ya sea a través de los estatutos gremiales o bien a través de la licencia comercial necesaria para la explotación de cal”³⁰.

Cabe señalar también que: “En los trabajos de excavación para el Centro de Convenciones se encontraron varios hornos de cal en una zona cercana al sur del convento de San Francisco, seguramente del siglo XVI, de los cuales unos de ellos eran para la quema de cal y otro para la cocción del ladrillo. Hoy están descubiertas y se pueden visitar con otros dos hornos del siglo XIX que es de azulejos. Por último las canteras y los asentamientos de cal eran propiedad municipal y estaban sujetas a la obtención de una licencia. La autorización para la explotación se otorgaba por un periodo limitado y estaba sujeta al pago de impuestos.”³¹ Es decir, que ya era normado su fabricación, transportación y uso.

²⁸ Kubler George. Op. Cit., Pág. 170.

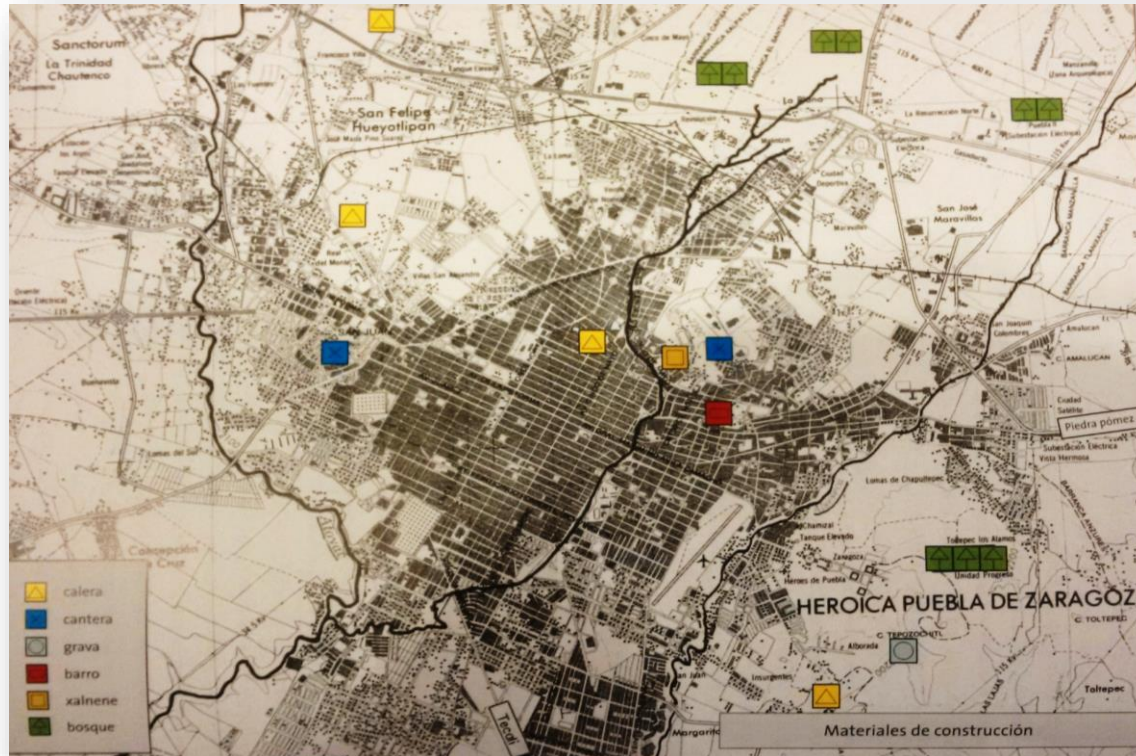
²⁹ Ibidem Pág. 171.

³⁰ Bühler Dirk. “Puebla Patrimonio de Arquitectura Civil del Virreinato”, Pág. 118.

³¹ Ibidem, Pág. 119.



Además refiere que “Los materiales que tiene la ciudad para su fabricación en sus cercanías, siendo tanta la abundancia de maderas, cal y piedra”.³² Podemos decir entonces que este material ha estado presente en todas las etapas constructivas de la ciudad, debido a que existen bancos de materiales para su elaboración.



PLANO II: Localización de Bancos de Materiales de Construcción en la Ciudad de Puebla de los Ángeles de 1698.
Fuente: Dirk Bühler, “Puebla Patrimonio de Arquitectura civil del virreinato”, Pág.118.

³² Gobierno del Estado de Puebla, “Historia de la fundación de la Ciudad de la Puebla de los Ángeles”, Pág. 307.



A continuación se presentan algunas fotografías de ejemplos de inmuebles arquitectónicos considerados como monumentos históricos en la Ciudad de Puebla de los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX, en los cuales la cal está presente.



Imagen 83: Casa del Deán del Siglo XVI.



Imagen 84: Templo de Santo Domingo siglo XVII.



Imagen 85: Casa de los Muñecos del Siglo XVIII.



Imagen 86: Casa de los Hermanos Serdán del Siglo XIX.



CAPÍTULO 3.- LA CAL EN LA CONSTRUCCIÓN. SUS CUALIDADES.

En este capítulo se expone de manera general como se ha venido empleando el material de la cal en la construcción en general, y en los sistemas constructivos en particular, así como su uso en recubrimientos y acabados, en obras arquitectónicas de los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX en la Ciudad de Puebla, ya que la cal forma parte esencial como materia prima de un aglomerante para la unión de piezas de mamposteo para subestructuras y superestructuras, según *Ludwig Mies Van der Rohe*:

“La arquitectura comienza cuando usted coloca cuidadosamente dos tabiques juntos. Ahí inicia”.



Imagen 87: Ludwig Mies Van der Rohe.

3.1.- En Sistemas Constructivos.

La cal está presente en las obras arquitectónicas a través de los sistemas constructivos, desde la cimentación, muros de mamposteo, hasta recubrimientos, impermeabilización de losas de azotea, acabados de enlucidos, pinturas y molduras de argamasas. Para comprender mejor lo referente a “sistemas constructivos”, es importante definir que es un **sistema**, y un **sistema constructivo**, es así que tenemos las siguientes definiciones:

Sistema: Del latín *systēma*, y este del griego *sýstema*; es un objeto complejo cuyos componentes se relacionan con al menos algún otro componente; puede ser material o conceptual. Todos los sistemas tienen composición, estructura y entorno, pero sólo los sistemas materiales tienen mecanismo, y sólo algunos sistemas materiales tienen figura (forma). Según el sistemismo, todos los objetos son sistemas o componentes de otro sistema. Por ejemplo, un núcleo atómico es un sistema material físico compuesto de protones y neutrones relacionados por la interacción nuclear fuerte; una molécula es un sistema material químico compuesto de átomos relacionados por enlaces químicos.¹

En cuanto al **Sistema Constructivo** tenemos que: Es un conjunto de elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos, que son característicos para un tipo de edificación en particular. Lo que diferencia un sistema constructivo de otro, además de lo anterior, la forma en que se ven y se comportan estructuralmente los elementos de la edificación, como son: pisos, muros, techos y cimentaciones.

El sistema constructivo no siempre define la edificación en su totalidad, es más común que defina cada una de sus partes; por ejemplo: en un

¹ Moore Fuller, “Compresión de las Estructuras en Arquitectura”, Pág. 242.



mismo edificio se pueden hacer muros mampuestos, reforzados, estructurales, o una combinación de los mismos. Mientras que se puede usar una cimentación flotante, aislada, corrida, o combinación de estas.²

Entendemos como sistema constructivo al conjunto de elementos que conforman físicamente una obra arquitectónica; se pueden clasificar según su función en:

a) Estructurales. Incluyen los elementos de apoyo y de cubiertas del inmueble tales como:

- Cimentación: Componentes que transmiten cargas al suelo.
- Superestructura: Partes del edificio que distribuyen sus cargas a la cimentación (muros, columnas, pilastras y arcos).
- Cubiertas: Formas arquitectónicas que cubren los espacios habitables (Tablaturados y Bóvedas).
- Elementos de liga o comunicación: Escaleras y pasillos.

b) Acabados. Recubrimientos de los elementos estructurales para dar una mejor impresión visual, confort y protección al espacio arquitectónico: aplanados, lambrines, rodapiés, guardapolvos, zoclos y decoración en formas y materiales diversos.

c) Instalaciones. Redes internas o externas que suministran o desalojan fluidos y que proporcionan servicios y funcionalidad a los inmuebles: dotación de agua potable, gárgolas, bajadas de aguas pluviales, drenajes y energía eléctrica.³

Con las definiciones anteriormente presentadas, sabemos que la cal, la piedra braza, la piedra volcánica, la piedra pómez, la piedra de río, tabiques rojos recocidos y adobes, son algunos de los materiales más importantes que conforman un sistema constructivo en una mampostería, y se han encontrado vestigios que datan de 4,000 años A.C. en la construcción de palacios y templos. A pesar del paso de los siglos, el proceso de construcción con mampostería ha permanecido esencialmente igual, acomodando pequeñas unidades modulares para realizar grandes muros o arcos, y el mortero (cal-arena), es el pegamento que mantiene juntas las piezas individuales.

3.1.1.- Cimentación, Muros y Losas.

En este punto se analiza, como está empleado el material de la cal, cuando es parte de un elemento constructivo, su función, modulación así como la relación que guarda entre otros materiales para conformar un todo. Así que se dará a conocer las formas, cualidades de los elementos que conforman los monumentos en su esencia constructiva como resultado de la conjunción de materiales, procedimientos o técnicas constructivas.

² Moore, Fuller. "Compresión de las Estructuras en Arquitectura", Pág. 243.

³ González Avellaneda Albert, et. al. Op. Cit., Pág.65.



Es importante mencionar que los inmuebles arquitectónicos están divididos en dos periodos históricos que son: **Época Virreinal** que abarca los siglos **XVI, XVII Y XVIII**, y la **Época Independiente** del siglo **XIX**. En ambos casos, las edificaciones presentan el mismo principio constructivo: cimientos, apoyos aislados, muros, entrepisos y losas de azotea, a continuación se presenta por siglos, el uso de la cal de estos componentes arquitectónicos.

Siglo XVI.

En este siglo se inicia la obra constructiva de las primeras ciudades coloniales, y los materiales básicos que se emplearon en la construcción de acuerdo a algunos autores fueron: la piedra proveniente de las demoliciones de los edificios prehispánicos, y de las canteras cercanas, las cuales presentan variantes como piedra de cantera, piedra volcánica, piedra de rio, piedra de tezontle. Debemos incluir además el adobe.

En segundo lugar destaca la **cal**, la cual se usó en la fabricación de morteros o argamasas, como se ha venido mencionando servía para asentar o unir la mampostería y sillares. En tercer lugar la madera, cuyo uso fue variado, desde cimentaciones, entrepisos, y losas de azotea.

Se sabe que: “La combinación de los materiales antes mencionados, dio como resultado la construcción de diversos edificios con cimentaciones de mampostería con o sin estacado (pilotes) y emparrillados de madera; muros de carga de mampostería, sillares de piedra o adobe con enmarcamientos y decorados de canteras todos unidos con aglomerante de mortero base cal-arena; techumbre planas a base de viguería de madera, tabla o tejamanil, terrado y entortado de barro o cal – arena bruñido”.⁴

Siglos XVII y XVIII.

Generalmente se siguieron empleando los mismos materiales que el siglo pasado; sin embargo, la experiencia constructiva permitió mejorar los terrenos con **cal**; se hacía el desplante con piedra y emparrillado de madera. De las obras de estos siglos, se puede reconocer que se sigue utilizando cimentaciones y muros de mampostería, y el mismo sistema constructivo en losas tanto de entrepisos como de azotea de tablaterrados. Debemos destacar el uso de la piedra en diversas partes del edificio, ya sea en estructuras, molduraciones y ornamentación, por este motivo, podemos establecer que la piedra de cantera sigue siendo material básico en la construcción de columnas, arcos, cornisas, dinteles, etc. Por otro lado, vemos como se sigue empleando la **cal** como aglutinante en los morteros para unir los materiales pétreos, además surge en esta época, el ladrillo dada su fácil fabricación y manejo, por lo que adquiere importancia en las edificaciones, ya que resulta un material muy versátil que se emplea en recubrimientos de azotea, se combina con la mampostería para muros, arcos y pilastras, se usa en forma de solera, para pisos y entrepisos sobre viguería, asentado con mortero a base de cal-arena.

⁴ González Avellaneda, Albert, et. al. Op. Cit., Pág.66.



A continuación se muestran algunos detalles constructivos, donde el uso de la **cal** está presente tanto en cimentaciones, muros, entrepisos, cubiertas, como en el pegado de cuadrado en azotea:

Cimientos.

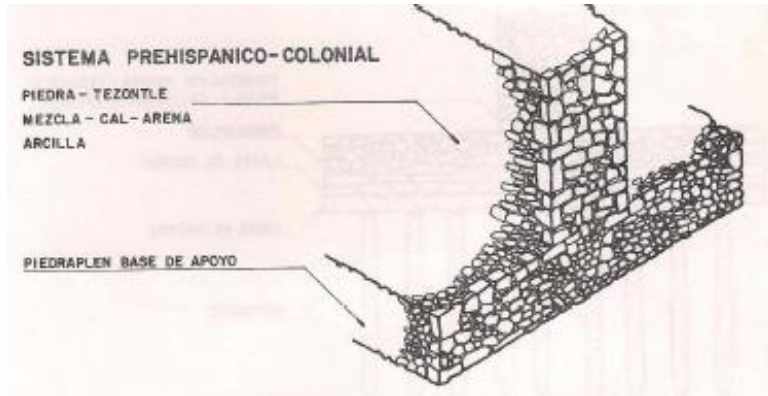


Imagen 88: Detalle de Cimentación.

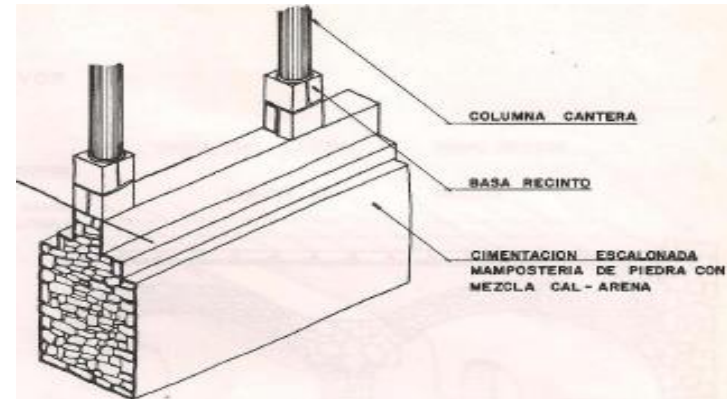


Imagen 89: Detalle de Cimentación.

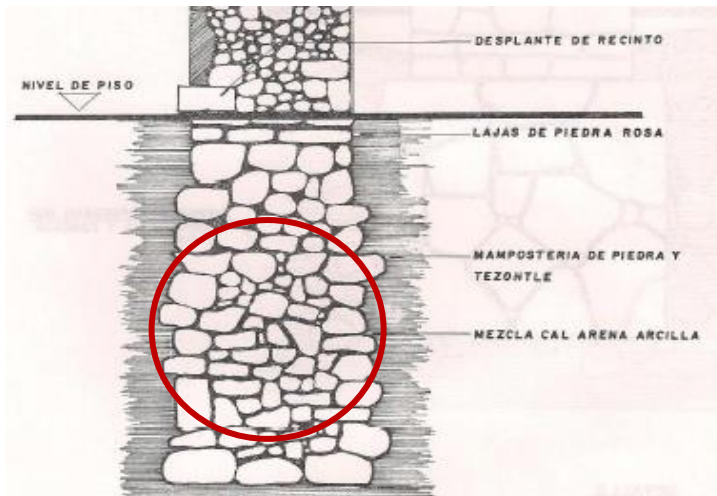


Imagen 90: Detalle de Cimentación.

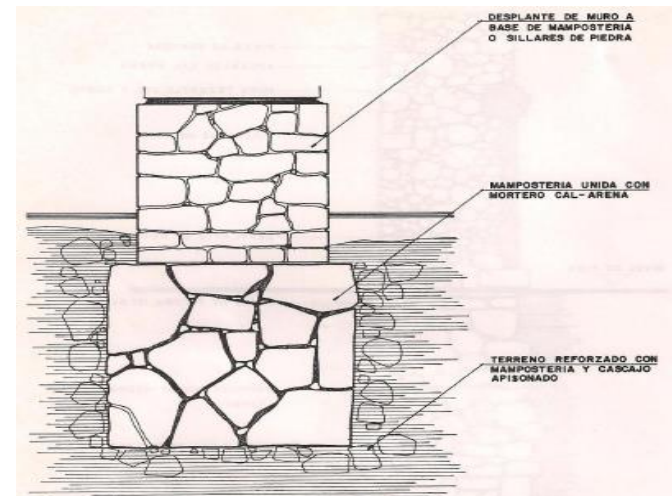


Imagen 91: Detalle de Cimentación.

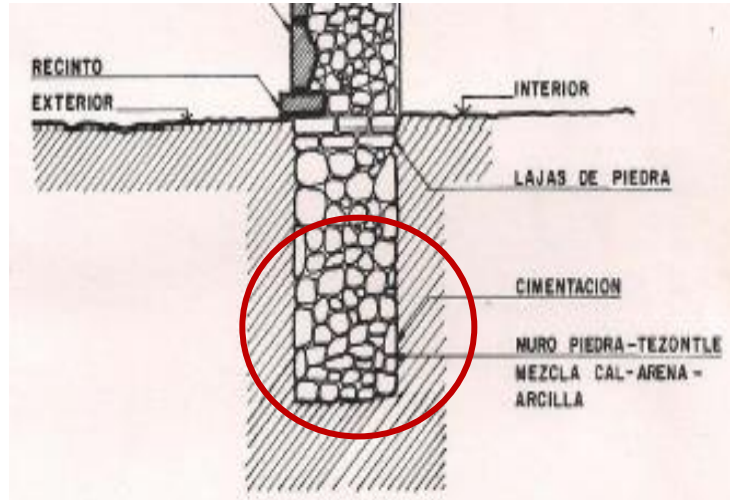


Imagen 92: Detalle de Cimentación.

MUROS.

NOTA: En los detalles constructivos de las imágenes 90-94 se hace referencia a la mezcla de cal-arena-arcilla. Actualmente en Laboratorio de Laser de la empresa de Calidra de Oriente se ha examinado que los suelos arcillosos son cementantes naturales que al contacto con la cal, realizan un proceso químico, modificando sus características físicas y mecánicas del suelo arcilloso; donde se efectúa una reacción química, que hace que los cationes de sodio y potasio del suelo, sean remplazados por cationes de calcio. La cal aplicada, activa el cementante natural dando más resistencia al aglomerante denominado mortero.

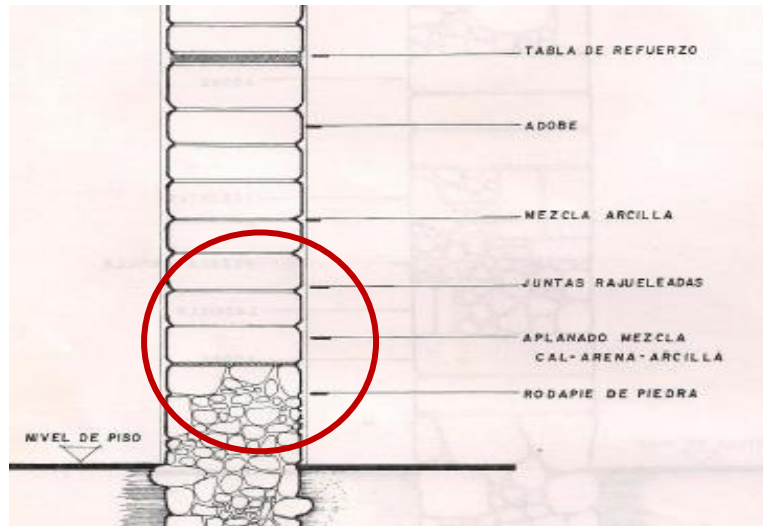


Imagen 93: Detalle en Muros.

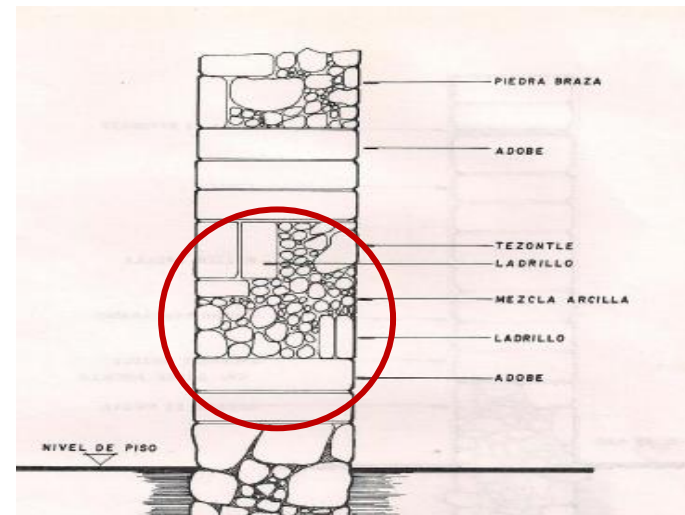


Imagen 94: Detalle en Muros.



Entrepiso y Cubierta.

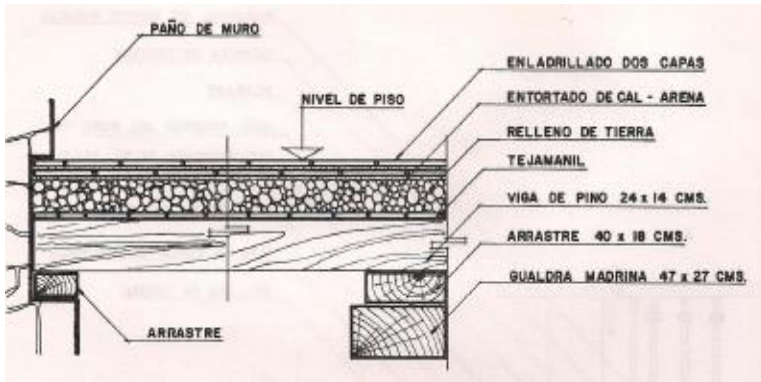


Imagen 95: Detalle de losa de entrepiso.

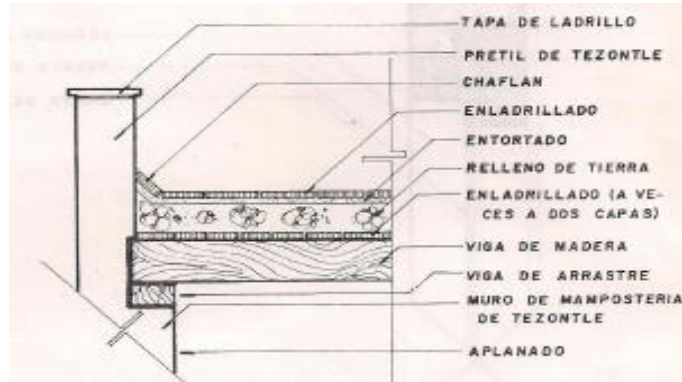


Imagen 96: Detalle de Cubierta con la aplicación de cuadrado.

Época Independiente (Siglo XIX).

En este siglo por la influencia de materiales y técnicas de procedencia extranjera se diversifica la forma de construir en México. La utilización de elementos prefabricados e industrializados, dio lugar a nuevas alternativas constructivas, sin olvidar por ello el empleo de los materiales y técnicas tradicionales empleados en los siglos anteriores.

Algunas de las aportaciones en cimentación que aparecen en este siglo son los escarplos en la mamposterías, donde se utiliza mortero a base de cal-arena, las plantillas a base de capas de arena-cal compactadas; el sistema Caballeri como se le conoce, que consistía en un conglomerante de mezcla hidráulica y pedacería de ladrillo en capas alternadas. Es importante mencionar la aplicación de la cal hidráulica ya en obra o apagada como parte de un sistema constructivo prefabricado como aglutinante.

En las superestructuras se incrementa el uso de tabique como material estructural. Se inicia su empleo como refuerzo horizontal y vertical en muros de adobe y tepetate, todos con junteos a base de cal-arena.

En las losas de entrepisos y cubiertas se utilizan las famosas losas catalanas conformadas por ladrillos con junteos a base de cal – arena y soportadas por vigas de acero.



A continuación se mostrarán algunos detalles constructivos donde se puede observar el uso de la **cal** en elementos como cimentaciones, muros, y entrepisos.

Cimientos.

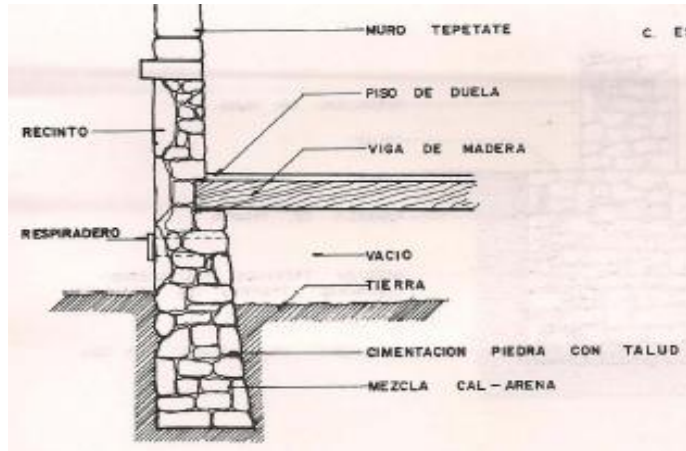


Imagen 97: Detalle de Cimiento con escarpio.

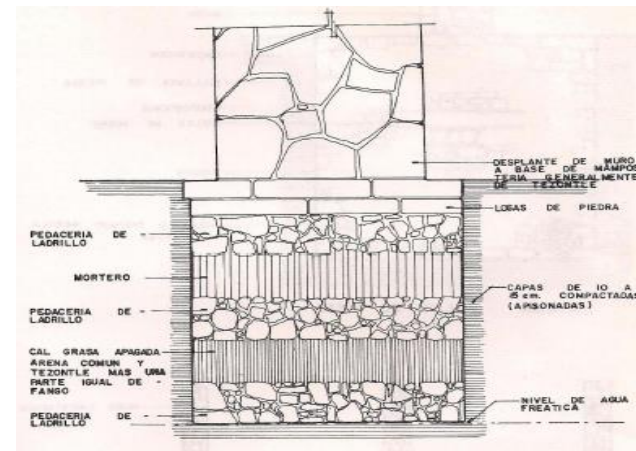


Imagen 98: Detalle de Cimiento con aplicación de cal grasa apagada.

Muro.

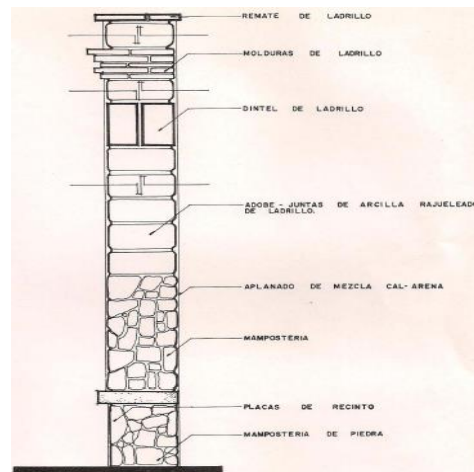


Imagen 99: Detalle en Muro de Mampostería.



Entrepiso.

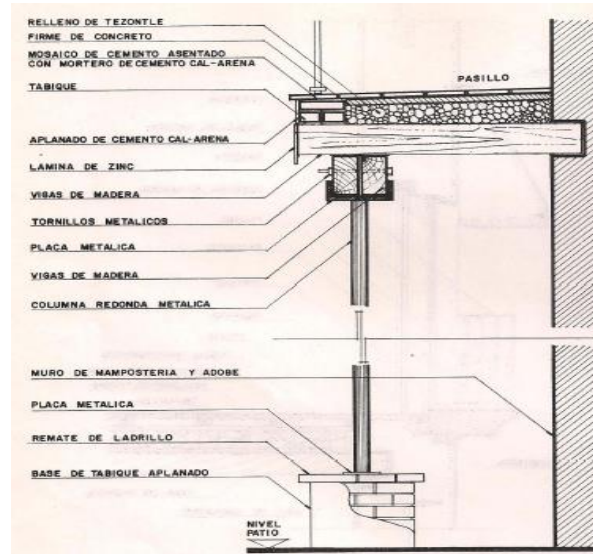


Imagen 100: Detalle en losa de entrepiso.

3.2.- Recubrimiento.

Para empezar, como se ha hecho con los conceptos anteriores, se establece primero la definición de la palabra Recubrimiento, desde lo general a lo particular, para después comentar su utilización en la construcción de monumentos históricos así tenemos las siguientes acepciones:

1. **Recubrimiento:** Acción y efecto de recubrir. 2. Cosa que recubre o sirve para recubrir.⁵
2. **Recubrimiento:** Recubrimiento o revestimiento (o por su designación en inglés: coating) es un material que es depositado sobre la superficie de un objeto, por lo general denominado sustrato. En muchos casos los recubrimientos son realizados para mejorar alguna(s) propiedades o cualidades de la superficie del sustrato, tales como aspecto, adhesión, características de mojado, resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste, y resistencia a las ralladuras entre muchas otras. En otras ocasiones, particularmente en

⁵ www. Diccionario de la Real Academia Española “accesado 10 de Agosto 2014”.



procesos de impresión y fabricación de dispositivos semiconductores (en los cuales el sustrato es un disco de material semiconductor), el recubrimiento es una parte esencial para la funcionalidad del producto terminado.⁶

3. **Recubrimiento:** Del latín; *cooperire* “*cubrir*”: Poner en recubrir una piedra, una pizarra, una placa de metal, es ponerla de manera que oculte la junta de las piedras, pizarras o placas contiguas. Por analogía, cualquier pieza de carpintería, albañilería que forma saliente sobre una espiga o junta de piezas contiguas, etc. Cualquier material que cubre superficialmente el paramento de un muro, piso o techo, con el fin de darle mejor vista.⁷

De las anteriores definiciones podemos establecer que al decir recubrimiento, nos referimos a un material cuya función es el de cubrir una superficie; si hablamos técnicamente nosotros como técnicos en construcción, utilizamos el término recubrimiento para designar una capa que protege a la superficie pétreo, y que le ayuda a evitar el contacto directo del medio ambiente (sol, agua y aire), evitando así la erosión del material pétreo, ya sea piedra, ladrillo o adobe, pues llega a sufrir disgregación con el paso del tiempo (Véase Imágenes 101 y 102). Otra de sus funciones es la de acabado, que puede ser monocromático o de color y que sirve para dar textura y color a las superficies, haciéndolas más llamativas al ojo humano, en donde se estimula mediante los colores, el estado de ánimo que nosotros queremos transmitir al usuario el espacio a utilizar a partir de la **Psicología del Color** (es un campo de estudio dirigido a analizar el efecto del color en la percepción y la conducta humana. Sin embargo, en un sentido más amplio, el estudio de la percepción de los colores constituye una consideración habitual en disciplinas como el diseño, la arquitectura, la moda, la señalética, la publicidad y el arte).



Imagen 101: Detalle de humedad de muro de tabique.



Imagen 102: Detalle de la disgregación de tabique por exposición a la intemperie.

⁶ www. Wikipedia enciclopedia libre “accesado 10 de Agosto 2014”.

⁷ Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, “Vocabulario Arquitectónico Ilustrado”, Pág. 400.



Los recubrimientos en obra civil se clasifican en repellados y aplanados finos además de pinturas o pastas que como mencionamos anteriormente nos ayudan a prevenir el deterioro del material del mamposteo de muros y a la visual en el acabado; es así que podemos concluir que los recubrimientos no son de uso estructural sino preventivos y decorativos.

3.2.1.- Repellado y Aplanado.

Los repellados y aplanados como ya lo mencionamos, son recubrimientos para los elementos estructurales de mamposteos, y que comentaremos sus significados, y sus detalles en la utilización en los monumentos históricos. Así tenemos las definiciones siguientes:

Repellado o Revoque: Resultado de revocar de enfoscar y enlucir las paredes por la parte de afuera. 2 cubrir los paramentos exteriores de un monumento histórico con una capa de **cal**, sílice y arena u otros materiales; Antiguamente se revocaba numerosos edificios con color amarillo pálido o con mixtura de cal y ocre a la que se añadía polvillo de piedra.⁸ (Ver Imagen 103-106).

Aplanados: Se usa en México como sinónimo de **REVOQUE**. La arquitectura colonial de México; estaba totalmente aplanada y encalada y muchas veces pintada; también considerada aguada, fresco y enlucido. *Nota: El hecho de descubrir la cantera es un error de la restauración.*⁹

Aplanados: Se realizan con **cal** y arena o de cal y tierra, piedra natural, barro y azulejos.¹⁰

De lo anteriormente expuesto podemos decir que la utilización del aplanado o revoque, se da en las construcciones desde el siglo XVI, y las primeras manifestaciones o ejemplos emblemáticos, lo son los templos franciscanos que están erigidos hoy en nuestros días, y como se explicó en las definiciones anteriores, están compuestos por cal-arena principalmente, y puede tener algún aglutinante natural como la baba de nopal como adherente al muro de mamposteo, tal como se resume en el siguiente párrafo:

“Se sigue empleando la **cal** como recubrimiento en forma de aplanados en pintura, para protección y ornamentación del inmueble; comúnmente utilizaba cal con arena, baba de nopal y tierras vegetales como colorante.¹¹

A continuación se muestran detalles de aplanados en muros de los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX; así como unas imágenes donde se aprecia la utilización de la cal en estos siglos, así como en los albores del siglo XXI.

⁸ Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, Op. Cit., Pág. 376.

⁹ Ibidem., Pág. 36.

¹⁰ Instituto Nacional de Antropología e Historia, “Manual de Mantenimiento de Monumentos Históricos”, Pág. 26.

¹¹ González Avellaneda Albert, et. al. Op. Cit., Pág.72.



Repellado o Revoque

Siglo XVI-XVIII.

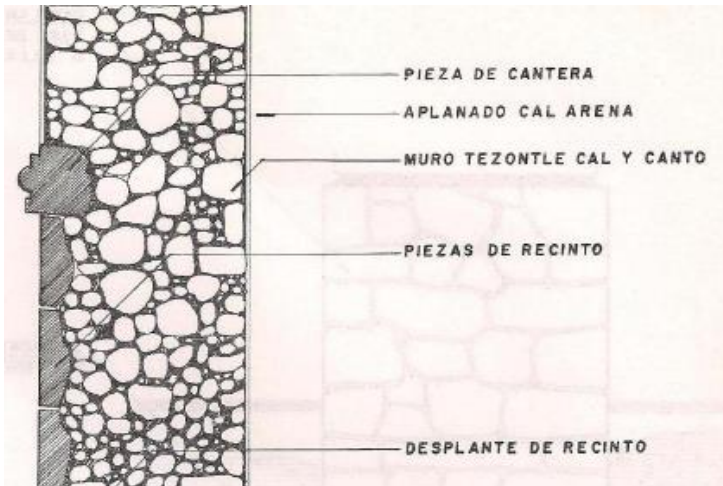


Imagen 103: Detalle en mamposteo de piedra donde se aplica el aplanado de cal-arena.

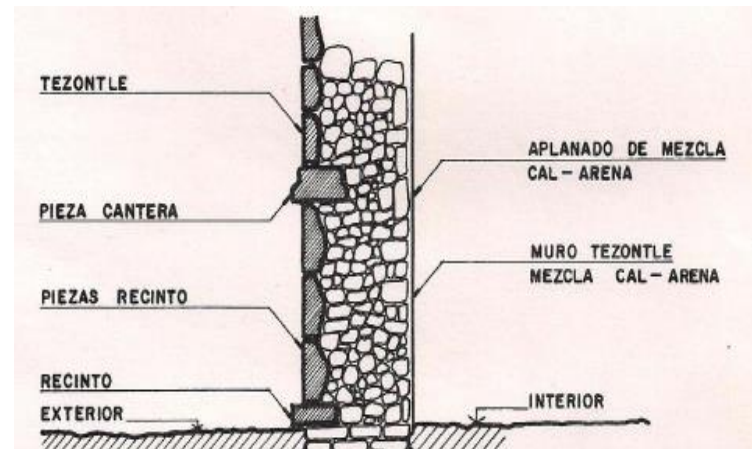


Imagen 104: Detalle en mamposteo de piedra donde se aplica el aplanado de cal-arena.

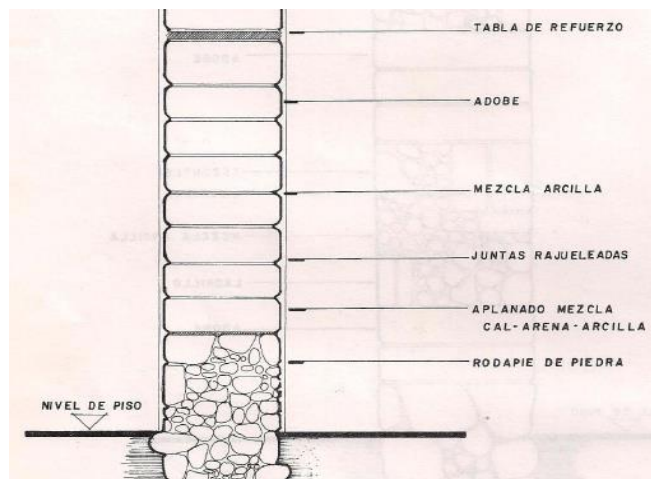


Imagen 105: Detalle en mamposteo de piedra donde se aplica el aplanado de cal-arena.

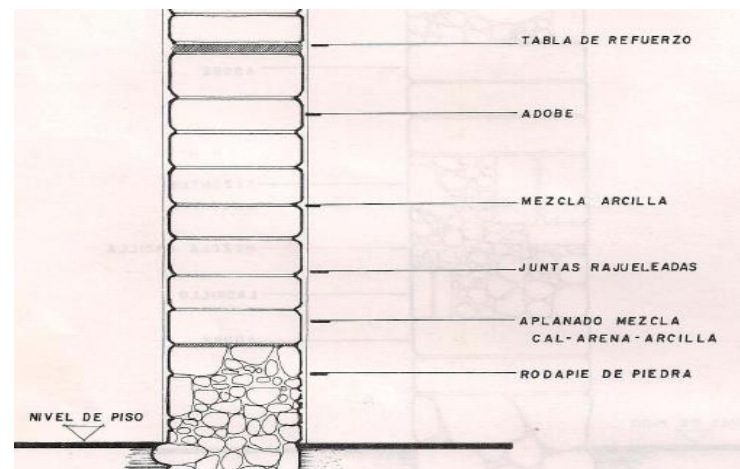


Imagen 106: Detalle en mamposteo de piedra donde se aplica el aplanado de cal-arena.



Imagen 107: Ex convento franciscano de Huejotzingo del siglo XVI-XVII. Aplanados cal-arena.



Imagen 108: Ex convento franciscano de Huejotzingo del siglo XVI-XVII. Aplanados cal-arena.



Imagen 109: Casa Habitación del siglo XVIII; en la Ciudad de Puebla.



Imagen 110: Iglesia de Santo Domingo del siglo XVIII; en la Ciudad de Puebla.



Siglo XIX

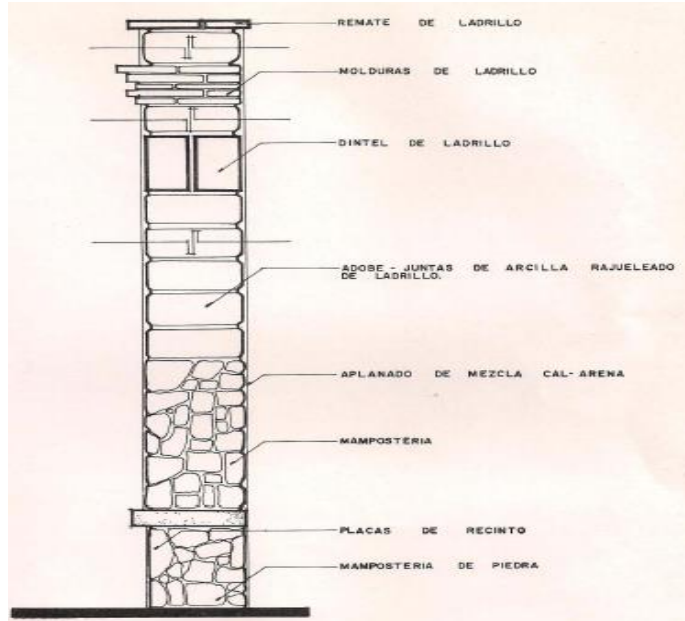


Imagen 107: Detalle en mamposteado de piedra donde se aplica el aplanado de cal-arena.

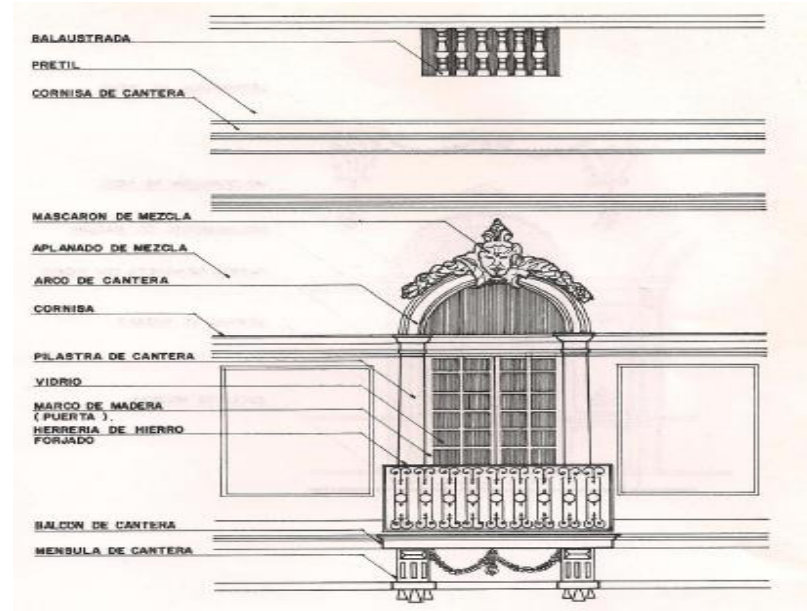


Imagen 108: Detalle en fachada donde se utiliza aplanado a base de cal-arena.



Imagen 109: Museo José Luis Bello y González; Casa del siglo XIX en la Ciudad de Puebla. Utilización de aplanados originales a base de cal-arena.



Imagen 110: Museo del Ferrocarril del siglo XIX en la ciudad de Puebla; Utilización de Aplanados originales a base de cal – arena.



Actualmente en los trabajos de restauración se ha analizado los aplanados datados del siglo XVII, XVIII y XIX; donde la proporción de materiales de estos morteros a base de cal, fueron realizados por medio de cal- arena en proporción 1:3; es importante mencionar que actualmente en la integración de estos aplanados, se utiliza una cubeta de 19 litros de pasta de cal hidratada en obra por tres botes de arena; es importante mencionar que entre más finos tenga la arena, mayor botes podremos utilizar. Con una buena arena hasta cuatro botes (en la región de Puebla-Tlaxcala); puede rendir una pasta de cal de un bote de 19 litros. Se recomienda para los revocos y aplanados, la utilización de arena de río por ser fina y brindar la disminución de fisuras en los aplanados.

Es importante hacer énfasis en este tema, ya que no es necesario poner cemento a los aplanados, ya que si se cuida los agregados, evitamos dobles trabajos; además los revocos no son elementos estructurales, sino solo recubrimientos como ya se explicó en este tema, y cuando se aplica cemento en su totalidad como es el caso de mortero a base de cemento, este material alcanza resistencias a la compresión a los veintiocho días de 180 a 220 kg/cm²; excesivos para un aplanado en un muro, cuando con morteros a base de cal-arena alcanzan resistencia de 40 kg/cm² en un año, cumpliendo con la resistencia como lo refiere el subíndice **2.5.2**

Morteros para pegar piezas, que establece lo siguiente:

“Los morteros que se empleen en los elementos estructurales de mampostería deberán cumplir su resistencia a compresión será por lo menos de 4 MPA (40 KG/CM²).¹²”

Es así, que se produce la siguiente pregunta: **¿Por qué no se debe usar cemento?**

Porque el cemento forma una capa muy dura e impermeable que impide descubrir las grietas que se producen en los muros, y no permite la salida de la humedad. Al guardarla dentro de ellos, provoca que se destruyan poco a poco, además de dañar también a los aplanados y la pintura.¹³ (Ver Imagen 111).

Para finalizar este punto, debemos establecer que es una necesidad que el profesionista en restauración, debe conocer los materiales de fábrica del bien a restaurar, para tomar la mejor elección acerca de aquellos que se van a utilizar por sus características y aportaciones al bien que se va a restaurar, y no solo elegirlos por recomendaciones de maestros de obra, casas comerciales o porque resulta económico. Se debe tener presente que la calidad de la intervención, dependen la mayoría de las veces, de la compatibilidad de los materiales empleados.

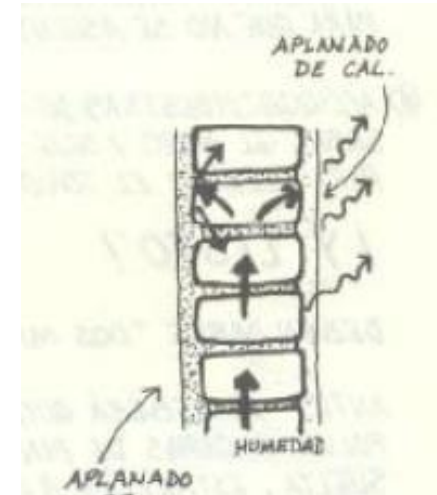


Imagen 111: Detalle arquitectónico de aplanados con mortero de cal y mortero de cemento.

¹² Administración Pública del Distrito Federal. Jefatura de Gobierno. “Acuerdo por lo que se da a conocer las normas técnicas complementarias del reglamento de construcciones para el distrito federal”, Pág. 24.

¹³ Instituto Nacional de Antropología e Historia. Op. Cit., Pág. 40.



3.2.2.-Impermeabilizante

El impermeabilizante a base de cal es un sistema que se conoce desde la época prehispánica, que se adoptó su uso en la época colonial, continuo su uso en la época del México independiente, y principios del siglo XX; posteriormente pierde su apogeo por el surgimiento de impermeabilizantes industrializados que son a base de agua, selladores, o a través de gas que actualmente es lo más aplicado y practico. Pero no todos los profesionales de la construcción, desean utilizar estos impermeabilizantes, aquellos que construyen arquitectura vernácula, sustentable, bioclimática o llevan a cabo restauración de edificaciones históricas, optan por utilizar impermeabilizante a base cal. Para poder ampliar el tema, debemos establecer primeramente el significado de la palabra impermeabilizante, así tenemos lo siguiente:

IMPERMEABILIZANTES: Son sustancias o compuestos químicos que tienen con objetivo detener el agua, impidiendo su paso, y son muy utilizados en el revestimiento de piezas y objetos que deben ser mantenidos secos. Funcionan eliminando o reduciendo la porosidad del material, llenando filtraciones y aislando la humedad del medio. Pueden tener origen natural o sintético, orgánico o inorgánico. Dentro de los naturales destaca el aceite de ricino y, dentro de los sintéticos, el petróleo.¹⁴

El INAH recomienda en el caso de impermeabilizaciones a base de cal, para trabajos de conservación y restauración de monumentos históricos el uso de cal, jabón, agua y alumbre. Su aplicación es la siguiente: "... hervir 100 litros de agua en un tambo, se agrega un bulto de cal de 25 kg, 19 kilos de jabón y se agrega 8 kilos de alumbre; se bate hasta que se disuelva completamente y se aplica en caliente con escoba o chulo sobre la superficie del enladrillado o entortado y déjese secar.¹⁵ Los resultados bien aplicados son óptimos.

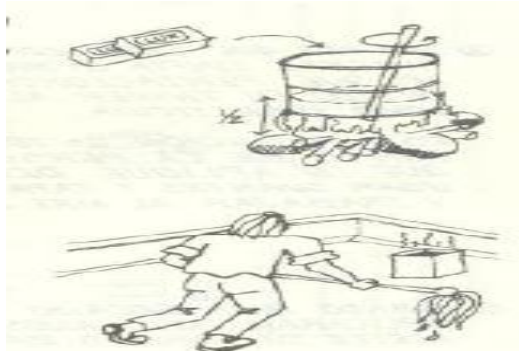


Imagen 112: Detalle de elaboración y aplicación de impermeabilizante a base de cal.



Imagen 113: Detalle de elaboración y aplicación de impermeabilizante a base de cal.

¹⁴ [www. Wikipedia enciclopedia libre](http://www.wikipedia.org) "accesado 10 de Agosto 2014".

¹⁵ Instituto Nacional de Antropología e Historia, "Manual de Mantenimiento de Monumentos Históricos", Pág. 45.



3.3.- Acabado

Los acabados son elementos de la arquitectura que se le puede denominar como el toque final de la obra o el revestimiento que le da vida a nuestra obra arquitectónica, y en los monumentos históricos no es la excepción ya que actualmente podemos admirar estos acabados en nuestros tiempos a pesar de su tiempo y de su ejecución, así podemos citar la siguiente frase:

“La tarea del arquitecto consiste en proporcionar a la vida una estructura más sensible” Autor: Alvar Aalto.



Imagen 114: Alvar Aalto.

De acuerdo a lo señalado por Alvar Aalto, los acabados dan vida a las estructuras. Como en los conceptos anteriores, es importante contar con definiciones que nos permitan entender mejor el concepto, es así que tenemos las siguientes definiciones:

Los acabados: se definen como las últimas operaciones destinadas a perfeccionar una obra o labor. En albañilería, es la aplicación de materiales para el terminado de la obra.¹⁶

El acabado: es un proceso de fabricación empleado en la manufactura cuya finalidad es obtener una superficie con características adecuadas para la aplicación particular del producto que se está manufacturando; esto incluye mas no es limitado a la cosmética de producto.¹⁷

Relacionado el tema con la cal, vemos que podemos hablar de dos tipos de acabados, lo que tienen que ver con la pintura a la cal, y aquellos que corresponde a ornamentación de monumentos históricos, tal como se ve a continuación:

3.3.1 Pintura

La pintura en los inmuebles arquitectónicos que actualmente son monumentos históricos tuvo gran relevancia en la época colonial principalmente en el tema religioso, ya que en los primeros conventos podemos encontrar desde la pintura convencional llamada lechada o encalada (vulgarmente agua con cal) con la que se recubría las fachadas y el interior de las naves de los templos, como la realización de pintura mural principalmente en las edificaciones franciscanas, un ejemplo son las nave central del templo, capillas abierta, capillas posas donde a través de representaciones, le servía a los franciscanos para su proyecto de evangelización de la población en el nuevo mundo.

¹⁶ Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, “Vocabulario Arquitectónico Ilustrado”, Pág. 6.

¹⁷ www. Wikipedia enciclopedia libre “accesado 10 de Agosto 2014”.



Investigadores como George Kubler nos comenta, que la supervivencia de la policromía exterior de la arquitectura del siglo XVI en México constituyó un rasgo tardío, motivado por el lento aprendizaje de la estereotomía, "...que favorecía un valor estético por si misma; principalmente en las primeras construcciones a base de piedra bruta, constituía la máxima técnica indígena que las superficies se recubrían de estucos y decoración pictórica que simulaban una fina mampostería, ricas molduras, ornamentación con relieves y lemas plasmados en las cornisas.¹⁸

Además, "En las principales construcciones los muros exteriores del templo se pintaban para dar una apariencia fina a la mampostería, la decoración era del tema religiosos siempre en términos de su integración a la arquitectura sobresaliendo sobretodo la pinturas y los bajo relieves considerados como pinturas murales o pinturas mural al fresco.¹⁹

La pintura que necesitaba una participación comunal menor a la que suponía el trabajo de explotar, cortar y tallar la piedra ocupó un lugar predominante en comparación con la escultura en la decoración arquitectónica teniendo gran demanda por la mano de obra indígena.²⁰

Debemos reconocer incluso, que el colorido y el pintar las paredes, era propio de la arquitectura local, la cual fue aprovechada por los españoles.

Con el objeto de adentrarnos al tema, definiremos algunos conceptos para la mejor comprensión del tema:

PINTURA: De *pinctura* por el latín *pictura*; Es el arte de pintar una de las artes plásticas o visuales que la misma obra es pintada con color preparada como acabado final.²¹

PINTURA: La pintura es la que protege a los aplanados, y al mismo tiempo hace que tenga buena apariencia; los edificios antiguos originalmente estaban pintados con pintura a base de cal. Una de las ventajas de pintar con cal es la economía, la duración, opacidad y permite que los aplanados "**RESPIREN**" dejando salir la humedad; lo que no ocurre con la pintura vinílica.²²

FRESCO: De *dipingere a fresco* "pintar al fresco" El proceso del fresco consiste en emplear los colores al agua sobre el empaste (revoco de cal-arena) del muro todavía fresco. Los colores se absorben por la materia que cubre al muro y no hay necesidad de ningún aglutinante.²³

¹⁸ Kubler, George. "Arquitectura Mexicana del siglo XVI", Pág.440.

¹⁹ Ibidem., Pág. 441.

²⁰ Kubler, George. Op. Cit., Pág.442.

²¹ Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, "Vocabulario Arquitectónico Ilustrado", Pág. 334.

²² Instituto Nacional de Antropología e Historia, "Manual de Mantenimiento de Monumentos Históricos", Pág.36.

²³ Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. Op. Cit., Pág. 234.



Así la técnica de la pintura en los primeros monumentos antiguos estaba constituida de cal y agua, su preparación desde tiempos inmemorables y hasta nuestros días, se hace tal como nos comenta el Instituto Nacional de Antropología e Historia, que refiere: "...un bulto de cal, agua, colorante artificial para cemento o tierras, vegetales o animales naturales, baba de nopal o en algunos casos sellador como última alternativa este último. Su preparación es el de una cubeta de 19 litros llenar a la mitad de su capacidad con cal hidratada, posteriormente agregar agua hasta llenar el recipiente de la cubeta, depositar diez cucharadas de sellador vinílico o la baba de nopal y revolver estos materiales hasta tener homogeneidad, por último agregar 25 gramos de pintura de color para tener el colorante de nuestra pintura y aplicarlo.²⁴

En los muros al fresco como lo refiere su definición es del aplanado o revoco (generalmente de cal –arena-arcillas) que se coloca en el muro de mamposteado antes de que este se seque por completo se empieza a realizar de la pintura al fresco para que la partícula del pigmento del colorante no solo se impregne en la superficie del aplanado sino que sea absorbido por el aplanado y se integre a este en su punto interno y formar parte de este por ello su durabilidad y permanencia a través del tiempo; En este tema damos a conocer que este empleo de la cal en la pintura y en el fresco son de gran importancia y que el especialista en restaurador los debe de tener en cuenta y respetar la integridad de los materiales a utilizar y no basarse en lo superficial de los materiales prefabricados para la ejecución de trabajos de restauración; sino siempre respetando los canones de la restauración; unos ejemplos de esta pintura los encontramos en el convento de Huejotzingo Puebla y se muestran a continuación las siguientes imágenes:



Imagen 115: Pasillo del claustro del ex convento de Huejotzingo en los muros y arcos se puede apreciar la pintura a la cal como el rojo oxido.

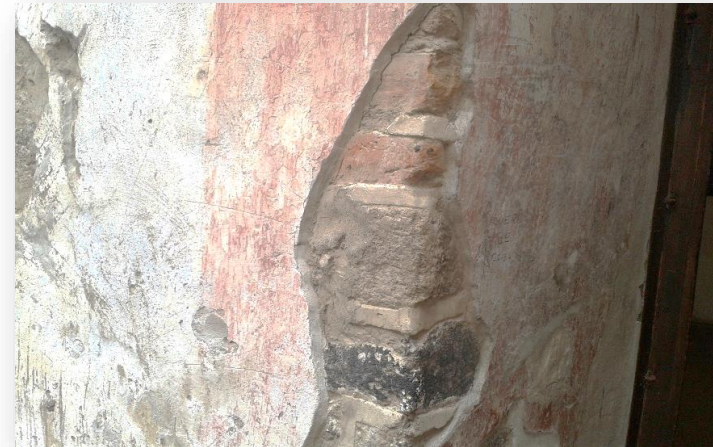


Imagen 116: Detalle de pintura a la cal en los estucos o aplanados se puede apreciar la pintura a la cal y el color rojo oxido.

²⁴ Instituto Nacional de Antropología e Historia, "Manual de Mantenimiento de Monumentos Históricos", Pág.38-39.



Imagen 117: Detalle de Pintura al fresco representando una iconografía religiosa realizada por la orden franciscana en el ex convento de Huejotzingo Puebla.



Imagen 118: Detalle de Pintura al fresco representando una iconografía religiosa realizada por la orden franciscana en el ex convento de Huejotzingo Puebla.

3.3.2 Ornamentación

Los acabados en la ornamentación que se desarrolla durante el siglo XVI, XVII, XVIII y XIX en nuestro país, se refleja en las bóvedas de crucería o de casetones en los templos religiosos, durante los dos siglos siguientes se pasa a los estucos (cal-yeso-arena) adheridos y a los retablos adosados. El estuco sirve como ningún otro material en general, se replican los motivos del grutesco y de la cartonería renacentistas, así como el alicatado de origen morisco. El estuco, el barro cocido, la mezcla que los poblanos llaman ‘pegoste’, permite atender a la necesidad decorativistas de la época barroca. El término tiene el siguiente significado:

ORNAMENTACIÓN: Del latín ornare “adornar, preparar, aderezar”. Acción y efecto de ornamentar o sea engalanar con adornos.²⁵

Los primeros estucadores vinieron de España por la cuarta década del siglo XVII, radicándose en la Puebla de los Ángeles, y de ahí se desplazaron a otras regiones como Oaxaca. Con estucos se revisten bóvedas, pechinas y pilastras del interior de los templos, las fachadas de algunos de estos, los exteriores de ciertas galerías conventuales de muchas de las torres y también de los casquetes cupulares. Las

²⁵ Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, “Vocabulario Arquitectónico Ilustrado”, Pág. 445.



porterías de los conventos de Santo Domingo y la Merced de Puebla, son alarde de esa labor en exteriores; el estuco aplicado a la decoración de interiores comprendida bajo las denominaciones de Manuel Toussaint, permite el inicio y proliferación de yeserías poblanas del ornamento que se dio en el sotocorro, y cúpula de la iglesia de San Idelfonso, la cual fue dedicada en 1625. Consiste en grandes carteleras renacentistas que exhiben figuras en altorrelieve, ligeramente coloreadas, un ejemplo es la iglesia de Santo Domingo en Puebla; los estucadores fue una de las artesanías que se importaron del sur de España, y al aplicarse en Puebla de los Ángeles tomaron arraigo en el medio poblano, a pesar de su origen en decoraciones renacentistas de artesanos italianos trasplantados a España.²⁶

La Puebla, fue la ciudad novohispana que presentó un mayor manejo del color y textura al ornamentar con una variedad de materiales las fachadas de sus edificios civiles y religiosos. Desde finales del siglo XVII, hubo paramentos fabricados con piedra de cantera de color gris, además de "... paños aplanados y pintados con marcos de vanos en piedra gris; revestimientos a la cal pintados usando una variedad de colores con molduras de argamasas en blanco; así fue evolucionando las técnicas hasta que en el siglo XVIII se utilizan los paramentos de ladrillo aparente y estucos, así como fachadas donde se combinaron el ladrillo, la argamasa y la piedra. Así la combinación de talavera, ladrillo y argamasas produjeron efectos cromáticos y volumétricos de gran vistosidad en una misma fachada, siendo el introductor de esta modalidad el arquitecto José Miguel de Santa María al decorar los paramentos verticales de la casa y colegio Palafoxiano, entre 1758-1763"²⁷, hecho que después prolifero

Así las argamasas juegan un papel importante en la decoración de los principales inmuebles la época colonial e independiente en la ciudad de Puebla de los Ángeles, por eso una de las características de las decoraciones del siglo XVIII en la ciudad fue el empleo de este material en los exteriores de los templos y casas. Debemos establecer que "Las argamasas son molduras efectuados con una mezcla de cal y arena fina (arena de río); que una vez seca se coloca o pega con morteros del mismo tipo, principalmente en exteriores de muros, bóvedas y cúpulas además de enmarcamientos de puertas y ventanas, cornisas, portadas. Siendo utilizadas tanto en motivos barrocos como en el rococó. Con frecuencia iban combinadas con otros materiales, tales como paramentos de ladrillo, detalles o elementos en cantería y/o azulejos"²⁸. Será esta característica la que le da reconocimiento a la ciudad.

Por otro lado: "Un elemento de ornamentación importante del siglo XVIII en Puebla fue la utilización del tejeroz, que tiene su antecedente en Andalucía; estos eran cubiertas para protegerse del sol y de la lluvia que se colocaban en la parte superior de los balcones que daban a la calle. Hubo dos variantes una fabricadas con bóvedas de ladrillo muy rebajado mismas que se cubrían con aplanados y argamasas (cal-arena) cuyas formas ornamentales eran a la manera barroca. La segunda Forma de fabricación fue colocando losas planas de cantería de

²⁶ Rojas Pedro, "Historia General del Arte Mexicano", Pág. 148.

²⁷ Terán Bonilla, José Antonio. "Arquitectura y Urbanismo del Centro Histórico de la Ciudad de Puebla 1531-1917", Pág. 137.

²⁸ Ibidem.", Pág. 141.



basalto gris empotradas en los muros aplanadas y ornamentadas con argamasas en forma de roleos y motivos vegetales dando una exuberante decoración característica del barroco poblano”.²⁹

Uno de los ejemplos más significativos de esta decoración es la casa del Alfeñique ubicada en la avenida 2 oriente esquina con calle 6 norte en la Ciudad , recibe el nombre de Casa del Alfeñique debido a su abundante ornamentación de mezcla blanca que se le relaciona con los dulces de azúcar, llamados **alfeñiques** que fueron famosos en Puebla. La casa la construye Antonio Santamaría de Incháurriegui, quien era maestro mayor de arquitectura, además de agrimensor titulado, mismo que recibe en la Real Academia de San Carlos. El encargo de la casa es del maestro herrero Juan Ignacio Morales, abuelo del pintor Francisco Morales, y su construcción relata la leyenda de la casa dulce que se suscribe a continuación:

*“El corazón de don Ignacio Morales latía con fuerza; su amor pertenecía a una mujer, que al paso de los años, algunos sólo llaman “Ana”. La belleza de esta poblana había arrebatado el sueño del herrero español, que esperaba el momento para poder casarse con ella. Pero su prometida –aún con los planes de boda avanzados– impuso una condición para desposarse: él debía construirle **“una casa de dulce”**.”*

El amor no tiene barreras y por tanto, don Ignacio se dio a la tarea de construir una casa digna de los caprichos de su amor, su próxima esposa. En 1790 y gastando 14 mil 900 pesos en oro, que poco significaron para conseguir su objetivo, concluyó la casona con una dulce fachada. Don Ignacio y Ana por fin contrajeron nupcias, y llevaron su amor a la anhelada casa de dulce, que en la actualidad es reconocida como uno de los inmuebles más hermosos de Puebla.”³⁰

Es así que la decoración de la casa trato de emular el dulce poblano denominado alfeñique, empleando para ello la cal, permitiendo con las argamasas tan exuberante ornamentación, reconociendo las cualidades de maleabilidad que ofrece para lograr formas únicas y caprichosas.



²⁹ Terán Bonilla, José Antonio. Op. Cit., Pág. 155.

³⁰ Gobierno Municipal de Puebla.” Guía Arquitectura representativa de la Ciudad de Puebla” Pág. 20-21



Imagen 119: Casa del Alfeñique de estilo Barroco del Siglo XVIII. Ornamentación realizada en argamasa típica del barroco Poblano.



Imagen 120 -121: Detalles Ornamentales de Argamasa (cal-arena) de la Casa del Alfeñique del barroco Poblano del Siglo XVIII.



CAPÍTULO 4.- LA CAL EN LA CONSERVACIÓN DE MONUMENTOS. SU APLICACIÓN

En este último capítulo se propuso presentar ejemplos de intervenciones en monumentos históricos cuyo objetivo fue su conservación, y dónde la aplicación de la cal estuvo presente, por ser un material presente en la fábrica de las construcciones, y que puede, a partir de las recomendaciones y procedimientos según el caso ofrece el Instituto Nacional de Antropología e Historia. Iniciando primeramente con el concepto de monumento, con la intención de dejar establecido la importancia que reviste un bien patrimonial para la historia y para la sociedad; se incluye además algunas disposiciones y normas que aluden el tratamiento a los inmuebles históricos.

4.1.- Concepto de Monumento

En 1980 La Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas del Gobierno Federal, asume la responsabilidad de restaurar el patrimonio monumental del país, a esta acción sin precedente, se suma la elaboración de vocabularios, normativas y especificaciones que guiaran las actividades que se estaban realizando, con el objetivo de unificar criterios y conceptos en todas las entidades federativas donde se llevaron a cabo acciones de restauración. Es así que surge el Vocabulario Arquitectónico Ilustrado, el cual establece para el caso del concepto de monumento, lo siguiente:

“Monumento: La noción de monumento comprende las creaciones del intelecto humano en general y en particular las obras arquitectónicas, escultóricas y pictóricas que ofrecen el testimonio de una civilización de una fase significativa de su evolución o de un suceso histórico”¹ Esta definición nos permite establecer que las obras materiales sea escultura, pintura o arquitectura y que se relacione con hechos de la historia, se les debe reconocer como monumentos.

Otra definición más que ofrece la misma Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas señala *“Monumento: Obra producida por el hombre en determinada época, a la que se le otorga un gran valor por considerársele ejemplo del arte, la ciencia o un hecho histórico relevante”*², en este caso en particular, la definición incorpora el concepto de valor, el cual reconoce la sociedad que tiene en pertenencia y custodia esa obra.

Una acepción más del concepto es la siguiente, **“Monumento:** Es todo objeto, edificio o documento que sea testimonio de una etapa histórica, de un hecho o de un personaje; que sea expresión del gusto de una época región o localidad o bien que haya sido útil para el desarrollo de una comunidad. Así se considera monumento lo que es característico y tradicional en una comunidad por modesto que sea, no

¹ Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. “Vocabulario Arquitectónico Ilustrado”, Pág. 306.

² Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. “Centros Históricos. Vocabulario”, Pág. 58



únicamente lo grandioso.³ El término sigue aludiendo a aspectos de la vida de la sociedad representado en obras materiales, las cuales se deben proteger con el fin de que contribuyan con la memoria colectiva de los habitantes de un país, región o ciudad.

El Instituto Nacional de Antropología e Historia, instancia encargada de la protección del patrimonio cultural en México, ofrece también una definición, y señala: “**Monumento:** Son algunos de los edificios más característicos de los centros históricos que junto con las calles y las plazas y otros elementos le dan una personalidad propia y única, hacen que sean especiales y nos permiten reconocerlos y distinguirlos de otros. Todos los monumentos son igualmente importantes ya que grandiosos o sencillos, entre todos forman parte de nuestra historia, que sigue presente hoy mismo, en la vida diaria, recordándonos de dónde venimos y porque somos como somos; si no existieran los monumentos las ciudades serían todas iguales sin carácter.⁴ La definición, más amplia que la anterior, permite establecer que todo tipo de obras modestas o monumentales pueden asumir el carácter de monumento, su cualidad estriba en que además de que son único, cualifican un sitio.

Después de la definición general del concepto de monumento, va a surgir precisiones al término a partir de su clasificación, es así que tenemos:

“**Monumento histórico:** De acuerdo con la ley, es todo objeto o edificio relacionado con la historia del país, desde la llegada de los españoles en el siglo XVI, inclusive el siglo XIX, ya sea que se les haya declarado como monumentos”.⁵ La definición tiene presente los aspectos legales que privan en nuestro país, y el monumento histórico debe ser declarado como monumento para que sea considerado como tal.

Otra definición más señala, “**Monumentos históricos:** Son los edificios antiguos que conviene conservar a causa de los recursos que se relacionan con ellos o por su valor artístico. También los monumentos son las obras dignas de pasar a la posteridad. Por ejemplo: las obras de Homero son el más bello monumento de la antigüedad. Una de las manifestaciones más altas y al mismo tiempo más perdurables del genio humano ha sido la arquitectura; que desde los pueblos primitivos y hasta nuestros días ha marcado con su sello de piedra la historia de las razas y naciones.⁶ Sí bien no se contraponen a la definición anterior, sí permite subrayar que deben tener un referente histórico de importancia para ser reconocido como monumento histórico.

Algunos autores señalan que “**Monumento Histórico**”: Comprende toda obra de arquitectura con testimonios de una civilización particular; de una fase o de un proceso de evolución artístico, social o cultural significativo o de un suceso histórico. Dentro de esta noción se engloban las esculturas, pinturas y se extiende a las composiciones de conjuntos urbanos y rurales. Se refiere no solamente a las grandes creaciones, sino

³ Instituto Nacional de Antropología e Historia, “Manual de Mantenimiento de Monumentos Históricos”, Pág.17.

⁴ Ibidem, Pág.16.

⁵ Instituto Nacional de Antropología e Historia, Op. Cit., Pág.17.

⁶ García Palacios, de Juárez Emma. “Monumentos de la Ciudad de Puebla”, Pag.23.



a las obras modestas que con el tiempo han adquirido un significado cultural. La noción de sitio se aplica a todo conjunto creado por la naturaleza o por el hombre, que pueda tener un interés histórico, arqueológico, artístico, estético, científico o legendario.⁷ Todas estas definiciones permiten tener más claridad del término.

Ahora bien, los monumentos históricos se pueden clasificar por su función y uso de la siguiente manera:

- I. **Edificios Religiosos:** Templos y anexos para servicios religiosos es decir todas las iglesias, conventos, capillas, catedrales, arzobispados, casas cúriles, seminarios y etc.
- II. **Edificios para Servicios Públicos:** Palacios y oficinas de gobierno, fuentes, acueductos, puentes, edificios de asistencia (hospitales, hospicios, etc.), de educación, de recreo, cárceles, alhóndigas y etc.
- III. **Conmemorativos:** De ornato público como estatuas, inscripciones, bancas, fuentes.
- IV. **Edificios Civiles:** Para la producción como haciendas, ingenios o fábricas.
- V. **Edificios Militares:** Como cuarteles, fortificaciones.
- VI. **Edificios para Habitación:** Palacios, casas y casas de vecindad.

Actualmente los monumentos en su mayoría son edificios civiles construidos para habitación, aunque se utilizan algunos de otro tipo como los religiosos y que tienen otro uso actual muy distinto a lo que fueron construidos y que fueron adaptados al nuevo uso, la mayoría son edificios de dos niveles construidos en la época colonial y por ello estas edificaciones fueron construidas con técnicas y materiales diferentes a los que se utiliza actualmente es por eso que para repararlos adecuadamente se deben emplear los mismos materiales con los que fueron construidos originalmente.

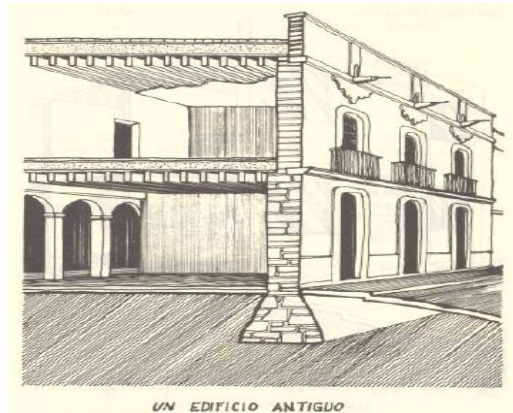


Imagen 122: Detalles Constructivo de un Monumento Histórico.



Imagen 123: Monumento Militar. Fuertes de Loreto en la Ciudad de Puebla

⁷ Mangino Tazzer, “La restauración Arquitectónica”, Pág. 71.



4.1.1.- Disposiciones y normas para su intervención

Los monumentos históricos están respaldados a través de disposiciones y normas de índole internacional y nacional para su cuidado, protección y preservación, en algunos casos incluso este cuidado conlleva el reconocimiento internacional por estar reconocidos como patrimonio de la humanidad. Es así que México como país, cuenta con diez ciudades patrimonio de la humanidad reconocidas por la UNESCO, el centro histórico de la ciudad de Puebla es uno de ellos. Es de suma importancia conocer cuáles son las instituciones internacionales y nacionales que regulan las disposiciones y normas que regulan la protección de los monumentos históricos.

Así dentro de los organismos internacionales tenemos los siguientes:

- I. **UNESCO:** La constitución de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura fue aprobada por la Conferencia de Londres de noviembre de 1945 y entró en vigor el 4 de noviembre de 1946, una vez que 20 Estados hubieron depositado sus instrumentos de aceptación. El principal objetivo de la UNESCO es contribuir al mantenimiento de la paz y la seguridad en el mundo promoviendo, a través de la educación, la ciencia, la cultura y la comunicación, la colaboración entre las naciones, a fin de garantizar el respeto universal de la justicia, el imperio de la ley, los derechos humanos y las libertades fundamentales que la Carta de las Naciones Unidas reconoce a todos los pueblos sin distinción de raza, sexo, idioma o religión. Para cumplir este mandato, la UNESCO desempeña cinco funciones principales que son:
 - Estudios prospectivos: es decir, las formas de educación, ciencia, cultura y comunicación para el mundo del mañana
 - El adelanto, la transferencia y el intercambio de los conocimientos, basados primordialmente en la investigación, la capacitación y la enseñanza
 - Actividad normativa, mediante la preparación y aprobación de instrumentos internacionales y recomendaciones estatutarias.
 - Conocimientos especializados, que se transmiten a través de la "cooperación técnica" a los Estados Miembros para que elaboren sus proyectos y políticas de desarrollo.
 - Intercambio de información especializada.

Es en este marco de actuación que la UNESCO reconociendo que estamos ante un mundo globalizado, donde la cultura concede a los pueblos identidad, les permite sentirse orgullosos de lo que son, qué quieren y hacia donde van; conservar esos rasgos culturales y de identidad ha hecho que este organismo internacional en 2005 aprobó la Convención sobre la protección y la promoción de la diversidad de las expresiones culturales, y las obras materiales como la arquitectura, entrar dentro de este concepto, de ahí que debe velar por su conservación, para ello cuenta con organismos auxiliares como los que a continuación se mencionan:

- II. **ICOMOS:** Consejo Internacional de Monumentos y Sitios, también conocido como ICOMOS (de la sigla en inglés International Council on Monuments and Sites) es una asociación civil no gubernamental, ubicada en París, Francia, ligada a la ONU, a través de la Unesco. El ICOMOS fue fundado en 1965, como resultado de la Carta de Venecia de 1964. Entre sus responsabilidades está



promover la conservación del patrimonio tangible e intangible de los pueblos, capacitar al personal para esta labor, y proponer los bienes que reciben el título de Patrimonio Cultural de la Humanidad. Es así que promueve la teoría, la metodología y la tecnología aplicada a la conservación, a la protección y a la valorización de monumentos de sitios de interés cultural.

- III. **DOCOMO:** La organización internacional para la Documentación y Conservación de los edificios y sitios del Movimiento Moderno, fue invitada en 1992 por ICOMOS a producir un informe sobre el patrimonio del Movimiento Moderno con relación a la Lista del Patrimonio Mundial.

Ahora bien, dentro de los documentos internacionales relacionados con el patrimonio edificado, destacan los siguientes:

- I. **Carta de Atenas de 1931:** Adoptada en la Primera Conferencia Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos, Atenas, 1931, a partir de las siguientes resoluciones, basadas en la “Carta del restauro”.
1. Se establecerán organizaciones internacionales para la restauración, tanto a nivel operativo como consultivo.
 2. Los proyectos de restauración que se propongan serán sometidos a la crítica, de modo de prevenir errores que causen pérdida de carácter o de valores históricos en las estructuras.
 3. Los problemas de la preservación de los sitios históricos serán resueltos a través de la legislación a nivel nacional para todos los países.
 4. Los sitios excavados que no puedan ser objeto de inmediata restauración deber ser cubiertos nuevamente para su protección.
 5. Las técnicas y materiales modernos pueden ser usados en los trabajos de restauración.
 6. Los sitios históricos contarán con estricta protección de custodia.
 7. Se deberá prestar atención a la protección de áreas alrededor de los sitios históricos.⁸

Otro documento más emanado de la UNESCO y los trabajos en diferentes foros, es el siguiente:

- II. **Carta de Venecia de 1964:** Cargadas de un mensaje espiritual del pasado, las obras monumentales de los pueblos continúan siendo en la vida presente el testimonio vivo de sus tradiciones seculares. La humanidad, que cada día toma conciencia de la unidad de los valores humanos, los considera como un patrimonio común, y de cara a las generaciones futuras, se reconoce solidariamente responsable de su salvaguarda. Debe transmitirlos en toda la riqueza de su autenticidad. Por lo tanto, es esencial que los principios que deben presidir la conservación y la restauración de los monumentos sean establecidos de común y formulados en un plan internacional dejando que cada nación cuide de asegurar su aplicación en el marco de su propia cultura y de sus tradiciones. Dando una primera forma a estos principios fundamentales, la Carta de Atenas de 1931 ha contribuido al desarrollo de un vasto movimiento internacional, que se ha traducido principalmente en los documentos nacionales, en la actividad del ICOM y de la

⁸ [www. Wikipedia enciclopedia libre](http://www.wikipedia.org) “accesado 13 de Agosto 2014”.



UNESCO y en la creación, por esta última, de un Centro internacional de estudios para la conservación de los bienes culturales. La sensibilidad y el espíritu crítico se han vertido sobre problemas cada vez más complejos y más útiles; también ha llegado el momento de volver a examinar los principios de la Carta a fin de profundizar en ellos y de ensanchar su contenido en un nuevo documento.⁹

A partir de la creación de la UNESCO y los trabajos del ICOMOS, han venido surgiendo más instrumentos internacionales que contribuyen a resolver problemáticas particulares en materia de conservación del patrimonio, una de ellas es la siguiente

- III. **Carta de Ámsterdam 1975:** La Carta Europea del Patrimonio Arquitectónico fue el culmen del Año Europeo del Patrimonio Arquitectónico que el Consejo de Europa, celebró en 1975, y que se cerró con esta Declaración o Carta en un Congreso en la ciudad Holandesa de Ámsterdam. Carta cuyo fin quedo establecido en el Preámbulo de la misma, y que dice:

Limitada al monumento, sitio o conjunto de interés preferente, la noción de patrimonio arquitectónico abarca hoy todos los conjuntos construidos se presentan como una entidad, no solamente por la coherencia de su estilo, sino también por la huella de la historia de los grupos humanos que allí han vivido durante generaciones. El Congreso de Ámsterdam ha confirmado esa tendencia a abolir toda segregación jerárquica entre los conjuntos de mayor interés artístico y los de menor interés. Lo que esta Declaración pretendió, fue poner en valor y recuperar el patrimonio autóctono de pequeñas localidades y conjuntos arquitectónicos que no eran de primer orden, pero sin constituyen un patrimonio enriquecedor y reflejo de una manifestación de vida y de la sociedad de un país. Proteger ese patrimonio en comunión con quienes habitan en esos conjuntos de primer o segundo orden, sin jerarquías; haciendo estudios de restauración de su patrimonio arquitectónico sino también antropológicos y saber que necesitan esos entornos.

Esta Carta surge en un momento clave en Europa, donde el "desarrollismo" desaforado de la construcción estaba acabando con esa arquitectura autóctona de pequeñas localidades, acababa con una forma de vida que reflejaba la esencia de un país.¹⁰

Ya en América, encontramos también documento de carácter internacional producto de encuentros científicos donde la preocupación sobre el patrimonio estaba presente, la siguiente, es una de ellas

- IV. **Normas de Quito 1967:** La inclusión del problema que representa la necesaria conservación y utilización del patrimonio monumental en la relación de esfuerzos multinacionales que se comprometen a realizar los Gobiernos de América, resulta alentadora en un doble sentido. En primer término, porque con ello los Jefes de Estado dejan reconocida, de manera expresa, la existencia de una situación de urgencia que reclama la cooperación interamericana, y en segundo lugar, porque siendo la razón fundamental de la Reunión de

⁹ www. Wikipedia enciclopedia libre "accesado 13 de Agosto 2014".

¹⁰ www. Wikipedia enciclopedia libre "accesado 13 de Agosto 2014".



Punta del Este el común propósito de dar un nuevo impulso al desarrollo del Continente, se está aceptando implícitamente que esos bienes del patrimonio cultural representan un valor económico y son susceptibles de erigirse en instrumentos del progreso.

Además el documento establece que, el acelerado proceso de empobrecimiento que vienen sufriendo la mayoría de países americanos como consecuencia del estado de abandono e indefensión en que se halla su riqueza monumental y artística, demanda la adopción de medidas de emergencia, tanto a nivel nacional como internacional, pero la eficacia práctica de las mismas dependerá, en último término, de su adecuada formulación dentro de un plan sistemático de revalorización de los bienes patrimoniales en función del desarrollo económico-social.

Las recomendaciones del presente informe van dirigidas en ese sentido y se contraen, específicamente, a la adecuada conservación y utilización de los monumentos y lugares de interés arqueológico, histórico y artístico, de conformidad con lo que se dispone en el Capítulo V, Esfuerzos Multinacionales, acápite d), de la Declaración de los Presidentes de América.

No obstante precisa reconocer que, dada la íntima relación que guardan entre si el continente arquitectónico y el contenido artístico, resulta imprescindible extender la debida protección a otros bienes muebles y objetos valiosos del patrimonio cultural a fin de evitar que se sigan deteriorando y sustrayendo impunemente y de procurar, asimismo, que contribuyan al logro de los fines perseguidos mediante su adecuada exhibición de acuerdo con la moderna técnica museográfica.¹¹

México en particular, cuenta con instancias oficiales y organismos que tienen la obligación de velar por el patrimonio, las siguientes son solo una de ellas:

- I. SEP: La Secretaría de Educación Pública de México es una secretaría encargada de la educación tanto científica como artística y deportiva en todos los niveles, así como de sus contenidos, programas de estudio y calendarios.
- II. CONACULTA: El Consejo Nacional para la Cultura y las Artes de México es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Educación Pública desde 1988. Su objetivo es la promoción, el apoyo y el patrocinio de eventos que propicien el arte y la cultura en la nación.
- III. INAH: El Instituto Nacional de Antropología e Historia es una dependencia del gobierno federal de los Estados Unidos Mexicanos.
- IV. INBA: El Instituto Nacional de Bellas Artes, Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura o por su siglas INBA o INBAL; es una institución de México dedicada a la difusión de actividades artísticas y culturales que se realizan a nivel nacional, incluyendo el ámbito educativo.

¹¹ Mangino Tazzer, “La restauración Arquitectónica”, Pág. 110.



Todas entidades de orden federal deben apoyar desde sus diferentes políticas de actuación la conservación y protección del patrimonio cultural de las entidades federativas que conforman el país. Para ello, en el caso de Puebla en particular se tiene la Coordinación Técnica de Monumentos Históricos del Centro INAH Puebla

Dentro del Gobierno del Estado de Puebla los Organismos que vigilan, regulan, salvaguardan, conservan y restauran los monumentos históricos son los siguientes:

- I. Consejo estatal para la cultura y las artes de Puebla.
- II. Dirección de conservación patrimonial.
- III. Escuela taller de capacitación en restauración de Puebla.

El Gobierno Municipal de Puebla, entidad encargada de administrar el territorio municipal poblano, cuenta con la Jefatura de Regularización de la Zona De Monumentos y Patrimonio.

Ahora bien, en cuanto a las leyes y reglamentos, debemos destacar los siguientes:

- I. Reglamento de la ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas 1972: Proclamada por **LUIS ECHEVERRÍA ÁLVAREZ**, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos; y menciona: La Secretaría de Educación Pública, el Instituto Nacional de Antropología e Historia, el Instituto Nacional de Bellas Artes y los demás institutos culturales del país, en coordinación con las autoridades estatales, municipales y los particulares, realizarán campañas permanentes para fomentar el conocimiento y respeto a los monumentos arqueológicos, históricos y artísticos.
- II. Manual de Mantenimiento de Monumentos Históricos (Instituto Nacional de Antropología e Historia) SEP.
- III. El Decreto por el que se Declara una Zona de Monumentos Históricos en la ciudad de Puebla de Zaragoza, Estado de Puebla de 1977
- IV. El Código Reglamentario del Municipio de Puebla (COREMUN)

Son estas instancias y otras más, además de estos instrumentos y otros que se vienen generando, los que permiten y contribuyen a la conservación del patrimonio cultural material de un sitio, ciudad, región, estado o país.



4.2.- Casos prácticos en Monumentos Históricos

Para empezar a desglosar este último punto del trabajo de tesis, es necesario mencionar que en el año del 2014 a través de la experiencia profesional que tuve por parte de mi trabajo como arquitecto, que me brindó la empresa que en la que actualmente laboro, tuve la oportunidad de participar en algunas obras de conservación y restauración de monumentos históricos tanto religiosos, industrial y servicios públicos en el Estado de Puebla. Los trabajos realizados generalmente fueron la integración de junteos, aplanados, elementos decorativos en muros de mampostería estructurales de cada uno de los inmuebles intervenidos; estos trabajos se realizaron con cal y en cada uno de ellos se trabajó tanto cal viva (apagada en obra) como cal hidratada (cal apagada) dando buenos resultados, siendo aceptada incluso por los que intervinieron directamente en obra como son los maestros albañiles, quienes pudieron comprobar el beneficio y calidad del trabajo realizado con la cal hidratada, esto mismo ocurrió con los especialistas en restauración. Esto se debió que la cal que se utilizó en cada una de las obras es de una calidad de alta pureza¹² proporcionando en obra trabajabilidad, correa, mayor blancura, rendimiento, en algunos casos cero desperdicios y lo más importante para el constructor economía del producto.

Con las experiencias adquiridas al utilizar la cal de alta pureza en estas obras, nació el interés de escribir estas experiencias y transmitir las a las nuevas generaciones de especialistas en restauración, arquitectos, ingenieros, contratistas de construcción y hasta los maestros albañiles dedicados a la restauración, sobre la base de principios teóricos de la restauración y normas y procedimientos de intervención, demostrando que el utilizar la cal en trabajos de conservación y restauración de monumentos históricos es de gran importancia, ya que además de ser un material presente en la obra de origen, es susceptible de emplear en intervenciones a dichos inmuebles, por la homogeneidad que presentan, tal como lo establece el Instituto Nacional de Antropología e Historia.

A continuación se abordan algunos de los trabajos de conservación y restauración en inmuebles históricos en el estado de Puebla, donde se utilizó la cal de alta pureza, la experiencia resultó ejemplificante para demostrar todo lo que se ha venido diciendo sobre el uso de la cal en los trabajos de restauración.

4.2.1 Templo de Cuacnoplan en Palmar de Bravo

Este monumento religioso denominado Parroquia de San Sebastián Mártir es un inmueble religioso del siglo XVI (1565), se encuentra ubicado en la junta auxiliar de Cuacnopalan, en el Municipio de Palmar de Bravo en el Estado de Puebla. La junta auxiliar de Cuacnopalan está a

¹² Cal de alta pureza se refiere a la que contiene un alto porcentaje de $Ca(OH)_2$ superior a lo establecido por la Norma Mexicana NMX-C-003 –ONCCE-2010; como ejemplo de algunos productos que podemos encontrar en el mercado de la construcción son los productos de Piracal y Quimex 95 parte de la familia de Calidra de Oriente en el estado de Puebla – Tlaxcala.



2,220 metros de altitud; la población total de Cuacnopalan es de 7,719 personas, de cuales 3,739 son masculinos y 3,980 femeninas; teniendo el 90 % de la población profesa la religión católica, por lo que el inmueble es un elemento de identidad y valor social para la población. La ubicación del monumento religioso es el centro de la junta auxiliar.



Imagen 124: Mapa de Localización de Cuacnopalan.



Imagen 125: Parroquia San Sebastián Mártir del siglo XVI.

En el año del 2014 conforme al programa de conservación y restauración de monumentos históricos del organismo federal de CONACULTA, se licita la obra de mantenimiento de este monumento religioso, cuyo objetivo principal es garantizar su grado de conservación a partir de llevar a cabo trabajos de integración de aplanados, integración de molduras ubicadas en las torres, y la integración de pintura a la cal en la fachada principal del templo. A continuación se describe los procedimientos de ejecución de los trabajos:

Preparación del material para aplicar

Para este trabajo se utilizó la cal en su composición química de óxido de calcio (cal viva) que su nombre comercial es **OXID** con un disponible de CaO del 94% en un tamaño de piedra de ¼” – 0”. En presentación comercial de bultos de 25 kg.



La preparación del producto se realizó a través del apagado de la cal en un tambo de 200 litros, en el cual se colocaron cuatro bultos de 25 kg teniendo así 100 kg de cal, así mismo se colocó 100 litros de agua potable y se removió perfectamente esta mezcla, dejándola reposar 48 horas para que se realizara la acción química exotérmica del apagado de la cal, liberando por completo el CO₂.



Imagen 126: Vista del procedimiento del apagado de la cal viva.



Imagen 127: Vista de la utilización del producto oxid en sacos de 25 kg.

Procedimiento de ejecución

Antes de realizar los trabajos de integración de repellados o revocos, se debe realizar los trabajos preliminares que consiste en la liberación de aplanados existentes que se encuentran ya no consolidados en el muro de mampuesto, y a la limpieza del elemento expuesto con agua para dejarla lista para recibir la integración del nuevo mortero a base cal-arena.

Después de las 48 horas del apagado de la cal se tiene como resultado una pasta blanca homogénea y trabajable, la cual se procede con la preparación del mortero base cal-arena con la proporción de 3:1, que es tres cubetas de arena de río (se recomienda para los repellados se ocupe arena de río debido a que tiene poco porcentaje de finos que pasa la malla número 200 y de esta manera se disminuyen las fisuras en el repellado), una cubeta de 19 litros en pasta de cal hidratada en obra, y ejecutando la mezcla de estos elementos que es un cementante y un agregado, mezclándolos perfectamente para obtener una mezcla homogénea. En esta obra los responsables de obra decidieron colorar



mucilago de nopal para darle a la mezcla un poco de aglutinante natural para la integración de los nuevos revocos, su aplicación es a través de una mezclera y cuchara para la ejecución de los trabajos.

Nota: La preparación del mucilago de nopal consiste en cuatro nopales que se rebanaran en forma longitudinal y se pondrán a reposar en una cubeta de con dos litros de agua por una semana para que se escurra bien el nopal; una vez ya pasado este tiempo se procederá aplicar otros dos litros de agua y se revolverá bien con la baba del nopal obteniendo una mezcla homogénea lista para agregarse al mortero de base cal – arena.

Una vez ya realizados los revocos gruesos, se procede a la aplicación de los aplanados finos, esto se realizó al día siguiente, en donde la proporción para esta mezcla es 1:1, que corresponde a 1 bote de 19 litros de arena cernida por 1 bote de 19 litros de pasta de cal apagada en obra, se mezcla bien estos materiales y se obtiene la mezcla, lista para el acabado fino, su aplicación es por medio de flota.

Por último pero no por ello el menos importante, fue la preparación de la pintura a base de cal, que es el acabado final de los monumentos históricos que tiene la finalidad de conservar las características originales del elemento arquitectónico, además de proveer protección al inmueble que se está interviniendo. El procedimiento de preparación de la calada o pintura a la cal es sencillo, se utiliza un bulto de 25 kg de cal de alta pureza de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hidróxido de calcio), con un disponible del 90% y una granulometría del 95% en malla 200 en un tambo de 200 litros, se agrega 25 litros de agua y se deja reposar por 48 horas, se procede a su aplicación en cubeta de 19 litros, se agrega el agua-cal y antes de su aplicación se coloca cuatro litros de sellador blanco; su aplicación es con brocha o chulo.

Nota: En esta pintura a la cal por decisión del INAH y los pobladores, se dejó el color natural de la cal, mientras se realizan bien los análisis de las calas estratigráficas, para establecer el color, mientras la aplicación de esta calada sirvió como fondeo y protección al inmueble en cuestión.

CONCLUSIONES DEL USO DEL MATERIAL DE LA CAL: Es importante mencionar que el restaurador y el maestro de obra utilizaban **óxido de calcio** (cal viva) en tamaño de 4" a 6" y procedían en obra con el apagado de este materia; pero al apagarla no podían tener una finura perfecta de la cal apagada lo cual significaba que una vez Obtenido el Hidróxido de calcio (cal apagada) todavía tenían que cernirlo y tirar hasta un bote de 200 kg en obra; cuando se aplicó el producto de oxid por la finura de 1/4"-0"; no hubo desperdicios de cal en obra y al momento de realizar el mortero de la mezcla cal-arena reduce los grumos de la cal previniendo el palomeo en su aplicación (ver Foto 128-129); por lo cual al maestro de obra le facilita al momento de realizar la integración de aplanados y disminuir los famosos palomeos en obra. Además de obtener una mayor blancura en los aplanados teniendo un acabado vistoso en obra y disminuyendo las pasadas de mano en la integración de la Pintura (128-129); además de que la elaboración del apagado de la cal en obra se vuelve más fácil ya que en 48 horas tiene el resultado final y no esperarse de dos a un mes con el apagado de la cal tradicional. Facilitando el tiempo muertos y las maniobras en obra, obteniendo por lo anterior la satisfacción del restaurador y maestro de obra.



Imagen 128: Mortero a base de cal-arena con el producto OXID.



Imagen 129: Detalle de la homogeneidad del producto reduciendo granulometría y teniendo una pasta trabajable.



Imagen 130: Trabajos de integración de revocos y aplanados en las torres.



Imagen 131 Trabajos de integración de elementos vegetales decorativos en el friso de la torre.



Imagen 132: Trabajos finales de integración de aplanados base cal-arena.



Imagen 133: Trabajos finales de integración de pintura base cal.



4.2.2 Patio de Azulejos en la Ciudad de Puebla.

Se trata del patio de la Casa de los Ejercicios de San Felipe Neri, anexa al templo del mismo nombre. Desde hace ya algunos años el patio considerado como uno de los más bellos de la ciudad, decorado con azulejos de colores, es considerado monumento histórico propiedad del gobierno del estado. La construcción data de 1793, producto de las gestiones que llevó a cabo el padre Cayetano Medina, Prepósito de la congregación que logro la licencia del obispo Salvador Viena y Sotomayor para la construcción, y del virrey Antonio María de Bucareli y Úrsula, el permiso para hacer sorteos y obtener recursos económicos para los gastos de los ejercitantes necesitados.

“Los ejercicios espirituales se impartían antes en lo que fue el claustro de la venerable Concordia de San Felipe de Neri donde se dotó de 36 aposentos individuales y se agregó una capilla, refectorio, sala de conferencia, confesionarios, deambulatorio, salas de esparcimiento y demás servicios”¹³. El acceso de este bello patio es por la avenida 11 poniente, destaca por su decoración interior de estilo barroco, donde la combinación de piedra, argamasas, yeserías con mosaicos de azulejos amarillos, verdes, azules y blancos con motivos florales, así como los enmarcamientos de vanos de puertas y ventanas, aunado a la decoración de pilastras realizadas con argamasa (cal-arena), logra una composición de colores.

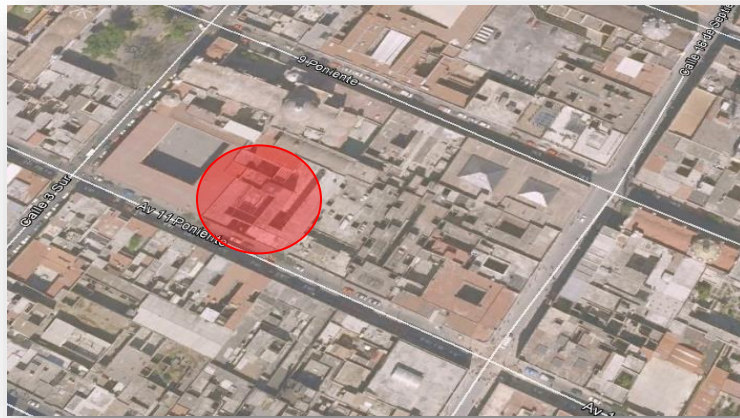


Imagen 134: Croquis de localización del Inmueble.



Imagen 135: Fachada principal del Inmueble de patio de Azulejos.

¹³ Gobierno Municipal de Puebla; “Guía arquitectura significativa de la ciudad de Puebla”, Pág. 23.



En este año (2014), la Escuela de Restauración de Puebla, incluyó en su programa académico, la intervención de conservación y restauración del Patio de los Azulejos, en la cual se tuvo la oportunidad de participar con esta institución, y brindar la asesoría para trabajar con cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal apagada), conocida con el nombre de QUIMEX 95. Los trabajos a desarrollar fueron la integración de juntas, y aplanados; toda vez que presentaba disgregación de los elementos antes mencionados, ocasionando el aspecto desagradable del monumento histórico. El elemento a intervenir, se encuentra frente a la fachada de azulejos de dicho patio, paramento que no presenta ninguna decoración desde su edificación, se trata de una fachada sobria con recubrimiento de repellado o revoco de cal-arena.

Preparación del material para aplicar

Para este trabajo se utilizó la cal en su composición química de Hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal apagada), conocido comercialmente como **QUIMEX 95** con un disponible de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ del 95%; con una granulometría del 99% en malla 200. En presentación comercial de bultos de 25 kilogramos. La preparación del producto se realizó a través del apagado de la cal en un tambo de 200 litros, en el cual se colocaron cuatro bultos de 25 kg teniendo así 100 kg de cal, así mismo se colocó 100 litros de agua potable y se removió perfectamente esta mezcla dejándola reposar 48 horas. Es importante mencionar que la cal con la marca de QUIMEX 95, es una cal hidratada que no necesita del proceso de hidratación, pero por las necesidades de la obra, y siguiendo los cánones que marcan los procedimientos de restauración, se dejó podrir en agua para obtener una pasta de cal más moldeable para su aplicación.



Imagen 136: Cal de QUIMEX 95 dejándola reposar en agua por 48 horas.

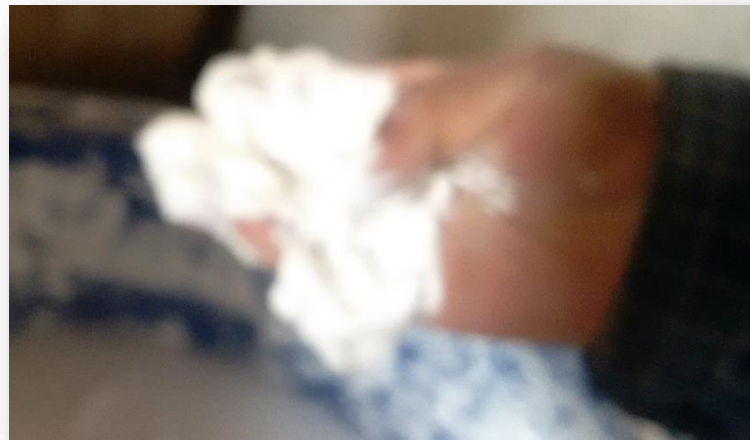


Imagen 137: Detalle de pasta de CAL reposada en 48 horas.



Procedimiento de ejecución

Antes de realizar los trabajos de integración de repellados o revocos, se debieron realizar trabajos preliminares que consistieron en liberación de aplanados existentes, que se encuentran ya no consolidados en el muro de mampuesto, otra acción fue la limpieza con agua del elemento expuesto con el fin de dejarla lista para recibir el nuevo mortero a base cal-arena.

Después de las 48 horas del apagado de la cal se tiene como resultado una pasta homogénea y trabajable, a la cual se le agrega arena de río con el fin de realizar la mezcla del mortero base cal-arena, para su posterior uso en la integración de juntas. Las proporciones a trabajar son de 3:1, es decir tres botes de arena de río y una cubeta de pasta de cal, su aplicación es por medio de una mezclera y cuchara para la ejecución de los trabajos.

Una vez realizados los trabajos de integración de junteos se procede con la preparación del mortero base cal-arena para la integración de revocos con la proporción de 4:1, que corresponde a cuatro cubetas de arena de río (se recomienda para los repellados se ocupe arena de río debido a que tiene poco porcentaje de finos que pasa la malla número 200, y de esta manera disminuyen las fisuras en el repellado), y una cubeta de 19 litros en pasta de cal hidratada en obra, ejecutando la mezcla de estos elementos que es un cementante y un agregado, mezclándolos perfectamente para obtener una pasta homogénea. Para la integración de los nuevos revocos, en su aplicación se usa como herramienta o equipo una mezclera y cuchara para la ejecución de los trabajos.

Nota: En esta mezcla se agregó un bote más de arena siendo la proporción 4:1 por las características de la arena que se utilizó que es la del banco del águila en Santa Isabel Tepetzala en el municipio de Acajete en el estado de Puebla, debido a las propiedades de esta arena, se pudo agregar más arena a la pasta de cal. Cabe resaltar que en la región Puebla-Tlaxcala, los botes de arena pueden ser de tres a cuatro; mientras que en los estados de Veracruz, Chiapas, Tabasco y Oaxaca, las proporciones de arena pueden ser desde cinco a seis botes. Esto se debe a la calidad de la arena de estas zonas).

Una vez ya realizados los revocos gruesos, se procede a la aplicación de los aplanados finos, estos se realiza al día siguiente, y en este caso particular la proporción para esta mezcla es 1:1, es decir un bote de 19 litros de arena cernida por un bote de 19 litros de pasta de cal apagada en obra- El procedimiento es que se mezcla bien estos materiales para obtener una mezcla lista para ser usada en el acabado fino. Su aplicación es por medio de flota.

En esta experiencia, los comentarios del Especialista en restauración y el maestro albañil como del residente de obra, fue que con el producto empleado obtuvieron en proporción 4:1 arena-cal un rendimiento de 4.50 a 5.00 metros cuadrados de repellado normal; es decir, utilizando la cal de QUIMEX 95 es que se obtuvieron estos resultados. Cabe señalar que el rendimiento es algo superior a lo que regularmente obtenían cuando utilizaban otro tipo de cales ya que ellos obtenían desde un rendimiento de 3.50 – 4.00 m² y el precio era más costoso y con menos



rendimiento, además de que se obtiene mayor blancura, correa y trabajabilidad de la mezcla con el producto de quimex 95 y menor desperdicio en obra.



Imagen 138: Detalle del paredón que se harán los trabajos de restauración.



Imagen 139: Detalle del liberación de aplanado que ya no se encuentra consolidado en el muro de mampostería.



Imagen 140: Mortero a base de cal –arena que se utiliza en los trabajos de junteos y repellos.



Imagen 141: Detalle de trabajo de integración de junteos y repellos en muros de limosnero con mortero cal-arena.



Imagen 141: Detalle de liberación de aplanado y tratamiento de muro de limosnero con limpieza para integración de revoco.



Imagen 142: Detalle de trabajo de integración de revoco o repello en muro limosnero.



Imagen 143: Detalle de trabajo de integración de repellados en distintas zonas del muro de mamposteo.



Imagen 144: Detalle de trabajo final de la integración del aplanado fino con pasta de cal-arena proporción 1:1.



4.2.3 Constanca Mexicana.

Otro de los ejemplos a destacar en el uso de la cal dentro del proyecto de conservación y restauración, es la Ex-Fábrica La Constanca Mexicana, fábrica textil ubicada en territorio poblano a 5 kilómetros del centro de la ciudad, considerada como la primera mecanizada y también la primera que empleo el afluente del río Atoyac (energía hidráulica) para funcionar. Referencias históricas la ubican como parte de los inicios de la industria textil en Puebla y en América Latina. La construcción del edificio data de 1835, año en que entra en operaciones y funciona hasta 1991, año en que cierra sus puertas motivadas por la crisis textil que vive la ciudad de Puebla y el país. Hechos únicos relacionados con la función del inmueble, le ha permitido ser registrada desde el 6 de diciembre de 2004 en la Lista Indicativa para ser considerada como Patrimonio de la Humanidad de México. Su superficie original fue de 52 mil metros cuadrados, y su construcción aún imponente, da muestra de su pasado glorioso. Se considera actualmente como monumento civil.

Debemos mencionar que sus orígenes son el Molino de Santo Domingo, y sus fundadores fueron Esteban de Antuñano y Gumersindo Saviñón, sin duda, su contribución permitió el establecimiento de otras fábricas textiles más en la ciudad. Su avanzada tecnología para la época se debe al señor Antuñano, fue propietario hasta su muerte en 1847, y para 1934 la adquiere la familia Barbaroux, quien la mantuvo en funcionamiento hasta 1960. Miguel Barbaroux fue el último propietario, y ante su incapacidad financiera para liquidar a los obreros, les cede la fábrica como saldo finiquito del pasivo laboral que la empresa tuvo con ellos. En un intento por que permaneciera en funciones, los trabajadores la administraron hasta 1976, y para 1991 cierra definitivamente. En el 2001, el gobierno del estado decide su expropiación, y se anuncia un nuevo uso para rescatar y conservar el inmueble, relacionado con la cultura y las artes (Centro Nacional de las Artes).

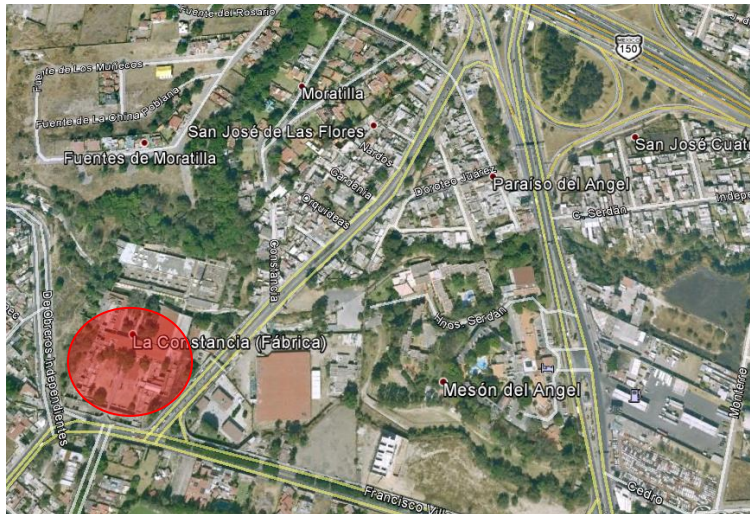


Imagen 145: Mapa de localización de la Ex fábrica la Constanca.



Imagen 146: Fachada interna de la fábrica de la Constanca en sus etapas de conservación y restauración.



La experiencia que se describe corresponde a la 5ª Etapa del Proyecto de Restauración y Conservación del Inmueble, autorizado por el gobierno del estado en el mes de Junio del año 2014. Los trabajos corresponden al patio tres, donde se definieron acciones de restauración de la fachada original del siglo XIX de la nave que anteriormente era de la maquinaria de hilares. Dentro de las acciones se estableció la reconstrucción de una cuarta parte del muro de la fachada que se había colapsado, y con el propósito de tener la misma unidad arquitectónica, se debía rehacer desde los cimientos.

Es importante mencionar, que el muro que se integró nuevamente se fabricó con la misma piedra de cantera del muro original que pudo ser recuperada. La participación en la intervención, fue a partir de servicios de asesoría técnica, y venta del producto (cal) para la realización de los trabajos. Se recomendó la utilización del producto nombrado QUIMEX 95, que es un material cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal apagada). Los trabajos a desarrollar fueron: integración de juntas, revoco o repellado, aplanados, y elementos decorativos como cornisas con diseño original (pechos de paloma). Todos se realizaron con morteros a base de cal-arena.

Preparación del material para aplicar

Para este trabajo se utilizó la cal en su composición química de Hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal apagada) que su nombre comercial es **QUIMEX 95**, con un disponible de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ del 95%; con una granulometría del 99% en malla 200. En presentación comercial de bultos de 25 kilogramos. Este producto por ser ya cal hidratada, no necesita dejarse pudrir en agua para llevar a cabo los trabajos de junteos; solo se dejó pudrir una parte, para la realización de algunos aplanados y elementos decorativos. Su preparación fue a través de colocación de 100 kilogramos de cal y 100 litros de agua en un tambo de 200 litros, removiendo perfectamente esta mezcla, dejándola reposar 48 horas para su posterior uso.

Procedimiento de ejecución

Antes de realizar los trabajos, se llevaron a cabo trabajos preliminares consistentes en liberación de los vestigios del muro de mampuesto derruido para su reconstrucción, además de limpieza general del área donde se va a trabajar. Realizadas estas actividades, se realizó la cepa para recibir la cimentación, la cual fue de las mismas dimensiones y características constructivas que la de fábrica.

Para los trabajos de pegado de mamposteado de piedra braza se procedió a la realización de mortero cal-arena; en donde se vertió la cal hidratada en 25 kilogramos directo a la arena, la proporción utilizada para la fabricación del aglutinante fue de 6:1, es decir seis botes de arena por un bulto de cal. Para la aplicación las herramientas y equipo empleado fueron una mezclera y cuchara para la ejecución de los trabajos.



Imagen 147: Detalle de mortero base cal-arena utilizados en el mamposteo.



Imagen 148: Detalle de mortero base cal-arena utilizados en el mamposteo de los cimientos del muro utilizando piedra original del elemento.



Imagen 149: Detalle de integración del muro de mampostería con la piedra existente del elemento anterior.



Imagen 150: Detalle de integración del muro hasta el nivel del cornisamento.



Una vez realizados los trabajos de integración de junteos, se procedió con la preparación del mortero base cal-arena para la integración de revocos con la siguiente proporción de 3:1, es decir tres cubetas de arena de río (como se comentó anteriormente, se recomienda la arena de río debido a que tiene poco porcentaje de finos y disminuyen las fisuras en el repellado), una cubeta de 19 lts con pasta de cal hidratada en obra y ejecutando la mezcla de estos elementos que es un cementante y un agregado y mezclándolos perfectamente para obtener una mezcla homogénea. Para la integración de los nuevos revocos y el molde de pecho de paloma en la cornisa se utilizó para su aplicación una mezclera y cuchara para la ejecución de los trabajos.

Una vez ya realizados los revocos gruesos, se procede a la aplicación de los aplanados finos y acabados decorativos, esto se llevaron a cabo al día siguiente, y la proporción para esta mezcla fue de 1:1, un bote de 19 litros de arena cernida por un bote de 19 litros de pasta de cal apagada en obra, se mezcla bien estos materiales, y se obtiene la mezcla lista para el acabado fino, su aplicación es por medio de flota.

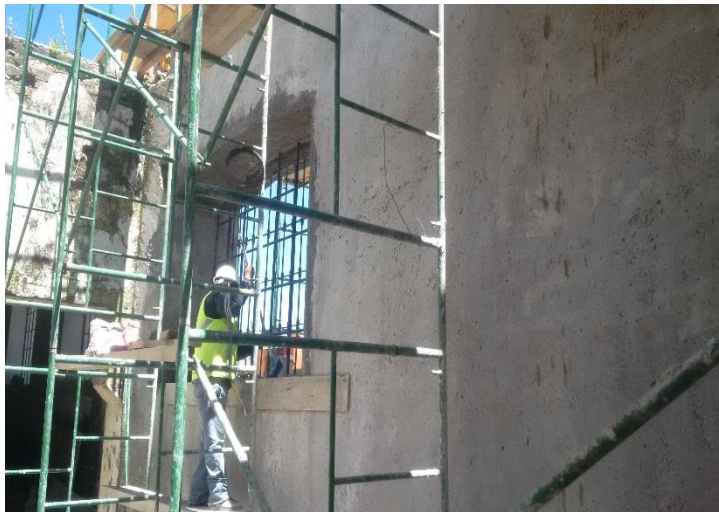


Imagen 151: Detalle de integración de revocos con mortero de cal – arena en el muro de mampuesto de piedra.



Imagen 151: Detalle de integración de revocos y aplanados finos realizados con mortero cal-arena.



Imagen 152: Detalle de integración en cornisamento como elementos decorativos en la fachada original del siglo XIX.



Imagen 153: Vista General de la Fachada principal ya con la integración de la fachada existente.

Conclusiones de la utilización del material: En un principio el arquitecto encargado de la obra estaba escéptico del material a utilizar; él estaba acostumbrado a utilizar un producto de cal que lo venden preparado pero su costo en el mercado es alto con fecha de este escrito que un tambo de 200 lts tiene un costo de \$2,500 pesos IVA incluido; con la utilización de Quimex 95 el costo para reproducir un tambo de 200 lts solo tiene un costo de \$ 500 pesos IVA incluido (hablando solamente del material de la cal); es así que con la propuesta económica el constructor acepto utilizarlo pero dudaba de su eficiencia. Al utilizar el producto en obra el constructor se dio cuenta que podía utilizarlo directo el saco envasado con los botes de arena sin dejar a podrir la cal y comprobó que cuando deja podrir la cal solo pudre lo necesario a utilizar en sus repellos y no tener desperdicio o material sobrante en pasta; además de medir los rendimientos y tener en un repellado desde 4.00 – 4.50 m² de repellado y tener una mayor blancura en sus acabados; teniendo así mayor rapidez en sus trabajos de junteos de mamposteos es importante señalar que para los trabajos de junteos no se utilizó nada de cemento solo cal arena además que en los revocos de los muros. Así al final de los trabajos el arquitecto quedo satisfecho con el producto y con fecha de este escrito lo ocupara para la restauración del ex convento franciscano de Tepeyanco; Tlaxcala.



4.2.4. Templo de San Pedro Mexicaltzingo en San Pedro Cholula

Este monumento religioso conocido como Templo de San Pedro Mexicaltzingo data de finales del siglo XVI y principios del XVII; se encuentra ubicado en la calle 4 sur del Barrio de san Pedro Mexicaltzingo en la ciudad de Cholula de Rivadavia, municipio de San Pedro Cholula, Puebla. En este año del 2014 la Asociación Civil de Circulares, Principales, Mayordomos y Barrios de San Pedro Cholula lograron acceder a recursos del Programa Fondo de Apoyo a Comunidades para la Restauración de Monumentos y Bienes Artísticos de Propiedad Federal (Foremoba). Su fachada es sobria, solo destaca un arco de medio punto con impostas y jambas en el primer cuerpo de la fachada, mientras que en el segundo se observa la ventana rectilínea del coro. Al interior se encuentra una pila de agua bendita posiblemente del siglo XVI. Los daños que presentaba el inmueble se concentraban en la bóveda y nave del templo, donde se podían observar fisuras en la bóveda y la nave, además de faltantes de chaflanes y aplanados de bóvedas.



Imagen 154: Croquis de localización del templo de san Pedro Mexicaltzingo.



Imagen 155: Fachada Principal del templo de Mexicaltzingo.

En el mes de abril del año 2014, se iniciaron los trabajos, la participación como en los demás casos, fue a través de los servicios de asesoría técnica y sobre el uso de la cal, para la realización de los trabajos; recomendando utilizar cal viva en piedra oxido de calcio CaO con un



tamaño de $1\frac{1}{2}''$ a $\frac{3}{4}''$. Los trabajos de intervención que se llevaron a cabo fueron: integración de chaflanes en pretilos de azotea, aplanados de cal-arena en bóvedas, inyección de grietas e integración de aplanados en cúpulas.

Preparación del material para aplicar

Para este trabajo se utilizó la cal en su composición química de CaO (cal viva) con un disponible del 92%, y una granulometría del 15% $< \frac{3}{4}''$. La piedra viva se depositó en una zanja de 5x5 x 2.50 metros de alto, y se vertió agua al mismo porcentaje de la piedra que fueron 7 metros cúbicos por un mes, se dejó pudrir la cal y se cubrió con una lona para evitar la pérdida de humedad como se muestra en las siguientes imágenes:



Imagen 156: Zanja de la cal viva para su proceso de apagado en obra.



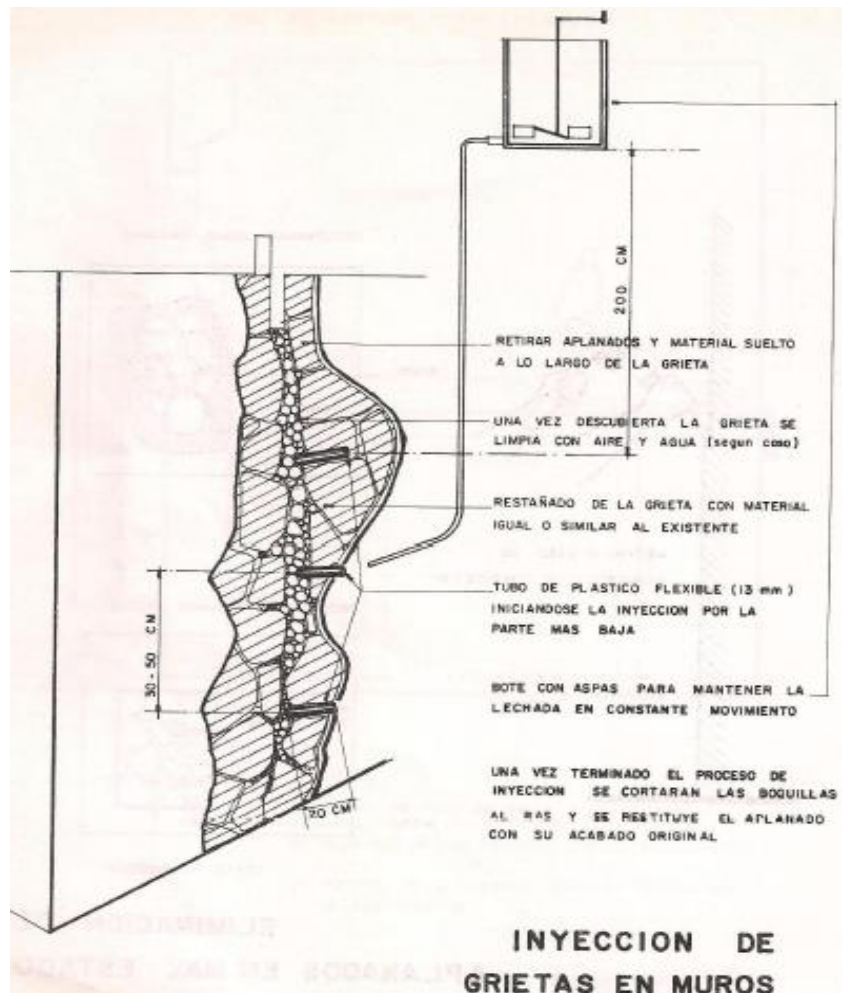
Imagen 157: Piedra caliza ya cocida a 1000 grados centígrados para obtener óxido de calcio.



Procedimiento de ejecución

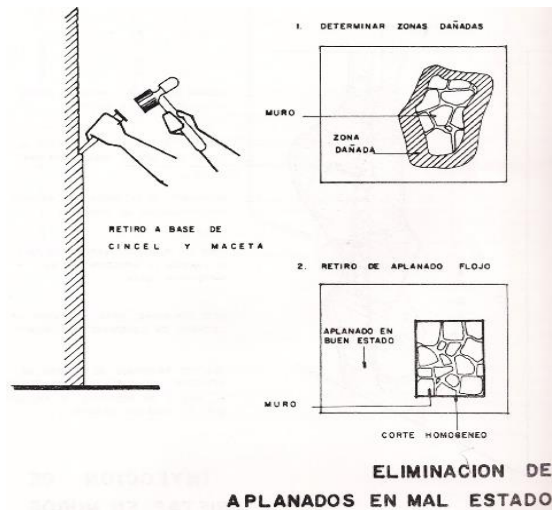
Los trabajos que se desarrollaron son considerados dentro de la restauración como obra de consolidación, y corresponde en particular a la inyección de grietas en muros de mampostería, para ello fue necesario retirar el material suelto, y descubrir la trayectoria y dimensión de la grieta. Posteriormente se aplica aire a presión para retirar residuos que se encuentren en la parte inferior, posteriormente se lavará con agua limpia.

A continuación se restañara con material del mismo tipo y características del área por tratar; se empleó mortero de cemento-cal-arena en proporción 1:3:8, simultáneamente se alojaron las boquillas de tubos de plásticos flexibles de $\frac{1}{2}$ " o de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, según era el caso, con separación a cada 50 centímetros aproximadamente, sobresaliendo del paño 20 centímetros. Posterior a esta actividad se realizó la inyección de la boquilla más baja hasta lograr la saturación de la grieta, continuando con la inmediatamente superior, tal como se muestra en la imagen siguiente:



Para la inyección se recomienda una lechada a base de:

Cal hidratada	3 partes
Cemento portland	1 partes
Arena cernida	3 partes
Agua limpia	1.5 partes
Aditivo estabilizador de mezclas	500 grs. por cada bulto de cemento (o según recomendaciones del fabricante).



En cuanto a los trabajos de integración de aplanados, se procedió de la siguiente manera:

1. Se protegieron pisos y otros elementos adyacentes que pudieran ser dañados durante el trabajo.
2. Se hicieron algunas calas con el fin de comprobar que no existiera pintura mural o decoración significativa.
3. Se retiró el aplanado en mal estado a base de cincel y maceta tal como se muestra en la imagen siguiente. Dando golpes rasantes a fin de no afectar la estructura ni las juntas de la misma

Una vez realizada la actividad de eliminación de aplanados se procedió a la preparación del mortero a base de cal-arena para realizar la integración de estos. Se hizo la limpieza de la superficie a intervenir, se humedeció el muro limosnero de mamposteo y se vierte la mezcla de mortero cal-arena en la proporción 1:3 (bote de pasta de 19 litros con tres botes de arena). Cabe señalar que algunos restauradores a esta mezcla le colocan una tercera parte de sellador blanco para mejor afijación de la mezcla.

Una vez colocado el revoco se procede a que este truene por un día y se aplica el revoco fino con un bote de pasta de cal y un bote de arena cernida, se aplana con una llana como acabado final. Una vez ya realizados los revocos gruesos se procede a la aplicación de los aplanados finos esto se realizaron al día siguiente con una mezcla en proporción 1:1, es decir un bote de 19 litros de arena cernida por un bote de 19 litros de pasta de cal apagada en obra, se mezclaron bien estos materiales, y se logró obtener la mezcla para el acabado fino, ya para su aplicación se hizo por medio de flota.

Por último se tomaron pruebas de los morteros a base de cal –arena para ensayarlos en laboratorio a 28, 40, 60 y 90 días e ir registrando su evolución de resistencia con el paso del tiempo. A la fecha de este escrito se tiene que las pruebas a 28 días registran una resistencia a la compresión de $f'c = 10 \text{ kg/cm}^2$ y las de 40 días una resistencia a la compresión de $f'c = 15 \text{ kg/cm}^2$ que son las muestras que se han ensayado y que las pruebas faltantes se irán verificando el crecimiento de resistencia de los ensayos.



A continuación se muestran algunas imágenes del proceso:



Imagen 158: Inyección de la cúpula principal del templo a través de mortero cemento-cal-arena.



Imagen 159: Integración de recubrimiento de lechada a base de cal-arena y mucilago de nopal.



Imagen 160: Integración de chafanes a través de rajoleo de tabique y mortero cal-arena.



Imagen 161: Preparación de la cal apagada en obra y aplicación de la arena proporción 3:1.



Imagen 162: Detalle de las bóvedas de cañón al integrar la lechada de cal –arena.



Imagen 163: Muestras de ensayos de mortero para laboratorio para pruebas de resistencia.



Imagen 164: Colocación de Argamasas en detalles decorativos del interior de la cúpula central del templo.



Imagen 165: Preparación de mucilago de nopal para implementación del mortero cal-arena. Central del templo.



Con los cuatro ejemplos de trabajos de restauración y conservación de monumentos históricos vistos con anterioridad en este escrito en diferentes lugares del estado de Puebla y de diversos monumentos históricos se tuvo la oportunidad de brindarle al especialista en restauración y a su personal de obra una opción en donde realizar la restauración con cal no se debe de ver como algo de largo tiempo y con complicaciones en su utilización de obra; que es de suma importancia el saber sus necesidades y el producto óptimo emplear para tener homogeneidad de materiales como son los trabajos de restauración y conservación; como se describió se utilizó tanto óxido de calcio a granel como envasado de igual forma el hidróxido de calcio también envasado; cada uno de estos productos satisficieron las necesidades del constructor donde estos productos superaron las expectativas de su utilización pero más que ello es demostrarle al especialista en restauración que la cal no es un material pasado de moda y que no sirve y que no opte por la cultura mercantil del cemento que lo “resuelve todo” tal vez en la construcción contemporánea del siglo XXI es óptimo pero en inmuebles catalogados como monumentos históricos es de suma importancia la aplicación de la cal y que se conozca de suma importancia que no todas las calces ofertadas en el mercado de la construcción son iguales; entre más pureza del producto de la cal mayor será la calidad de los trabajos y los rendimientos serán mayores; pero es algo que se desconoce y por eso su importancia de darlo a conocer para su correcta aplicación.

Es así grato el mencionar que la satisfacción de las personas que intervinieron en cada uno de los proyectos fue positivo y que con fecha de este escrito se seguirá ocupando en otros inmuebles históricos en donde el restaurador pudo apreciar calidad y precio no van peleados dentro de sus presupuestos de obra y ver las bondades de la cal en el tema de restauración de inmuebles arquitectónicos denominados monumentos históricos.



CONCLUSIONES.

El trabajo de tesis que se presenta, se realizó con dos intenciones, la primera tiene que ver con la aplicación de los conocimientos adquiridos en la Maestría en Conservación de Patrimonio Edificado en casos concretos, contribuyendo en la conservación de los bienes patrimoniales de Puebla. La segunda está dirigida a las nuevas generaciones de especialistas en Restauración del Patrimonio Edificado, y tiene que ver con el uso de la cal, uno de los materiales de fábrica ampliamente utilizado en la arquitectura prehispánica, arquitectura del virreinato, del México independiente, y época moderna, etapas de la historia que han aportado obras arquitectónicas singulares que son reconocidas como monumentos históricos, y cuya conservación es responsabilidad de la sociedad que los tiene en custodia, pero más aún de los especialistas que los intervienen para su conservación.

La restauración dice el arquitecto Chanfón, es la intervención profesional en las obras patrimoniales, y la responsabilidad de quien interviene en ellos (restaurador), es aprovechar al máximo la experiencia lograda en el pasado, y utilizar racionalmente los avances científicos y tecnológicos contemporáneos, y es lamentable encontrar en el ámbito profesional, algunos especialistas, arquitectos e ingenieros y contratistas, interviniendo obras históricas sin el debido conocimiento sobre su fábrica y materiales empleados, por lo que al momento de intervenir utilizan materiales como el mortero de cemento, con el argumento de que hay un ahorro de tiempo, al no estar realizando tantas maniobras en obra, en el mezclado de cementantes y agregados; sin importar las afectaciones que el material ocasiona a los bienes inmuebles.

El trabajo, permitió traer al presente a través de la investigación, el uso de la **cal** en diferentes culturas y etapas de la historia, destacando siempre su uso en la arquitectura. Es así que se conoció cómo en el neolítico, la cal estaba presente como aglutinante para la unión de mamposteos, y en otras civilizaciones más desarrolladas de la Antigüedad, también fue utilizado con mayor profusión. Lo mismo sucedió en la época Medieval, el Renacimiento, la Modernidad y aún en la época Contemporánea. Pudimos establecer que las culturas prehispánicas de Mesoamérica también empleaban el material (cal), en los diferentes sistemas constructivos empleados, así como en recubrimiento de las construcciones. A la llegada de los españoles, esta experiencia sumada a la de ellos, permitió seguir empleando la **cal** en las obras religiosas y civiles.

La versatilidad del material, y su presencia en estado natural en gran parte de la Nueva España, permitió su uso en los siglos posteriores a la conquista, aún en el México Independiente el material sigue siendo empleado en la construcción. Durante el Porfiriato y principios del siglo XX, a pesar de que las corrientes arquitectónicas promovían nuevos materiales y sistemas



constructivos, los anteriores no entraron en desuso y la **cal** como material de fábrica permaneció, hecho que continuo en todo el siglo XX, y principios del siglo XXI.

El trabajo también permitió conocer y reconocer las propiedades intrínsecas y extrínsecas de la **cal**, siendo las más importantes su plasticidad, correa, adherencia, rendimiento, disminución de merma en obra, y la economía del producto. También se estableció ampliamente su uso en diferentes actividades productivas, aun cuando interesaba destacar las que tiene que ver con la conservación y restauración de monumentos. Así, el lector con el presente trabajo puede conocer acerca de las características de material, la norma mexicana sobre la calidad de la cal, se explica la prueba del disponible para verificar que no todas las cales son de la misma calidad y como reconocerlas, y además se recomienda que tipo de cales son adecuadas para las obras de restauración por su pureza química. También se explica por qué se puede utilizar cal viva (óxido de calcio) y cal apagada (hidróxido de calcio) en obras de restauración, sin que esto contravenga la calidad de la intervención. Se mencionó también de la importancia de la calidad de las arenas a emplear, ya que juegan un papel importante en la elaboración de morteros a base de cal-arena, y se mencionan datos que ofrecen algunos autores sobre los mortero a base de cal, los cuales no necesitan resistencias mayores de $f'c = 40 \text{ kg/cm}^2$ para la realización de junteos y revocos en una obra de restauración, hecho que fue cotejado con las normas complementarias de los morteros que establece el Reglamento de Construcción del Distrito Federal, y brindar al especialista que interviene los bienes inmuebles, las herramientas necesarias para la utilización de la **cal** cumpliendo con las recomendaciones internacionales que señalan que toda intervención debe emplear los materiales de fábrica, ya que eso garantiza la compatibilidad de un material de origen con uno nuevo. Incluso el Instituto Nacional de Antropología e Historia recomienda esto mismo en sus diferentes Manuales y técnicas de intervención de monumentos históricos.

Por último, se presentaron experiencias que permiten comprobar lo expuesto y dicho sobre la cal. Las intervenciones tuvieron primeramente su justificación a partir de determinar los daños que presentaba el inmueble a intervenir, se conoció los materiales de fábrica, se estableció el procedimiento para resolver los diferentes deterioros que se presentaron como integración de juntas, inyección de grietas, restitución de aplanados, y pintura a la cal entre otros, ofreciendo siempre la asesoría técnica sobre la preparación del material y su aplicación.

Se puede establecer que los objetivos planteados al inicio del presente trabajo de tesis, se cumplieron.



BIBLIOGRAFÍA.

ADMINISTRACIÓN Pública del Distrito Federal. Jefatura de Gobierno. “Acuerdo por lo que se da a conocer las normas técnicas complementarias del reglamento de construcciones para el distrito federal”, México, 2000, Obras Públicas.

ALONSO, Pereira, José Ramón, “Introducción a la Historia de la Arquitectura” México, 2000, Ediciones.

ANTONIO Reina, Claudia. “Templo Mayor. De México Tenochtitlan”, México, 1986, Aconcagua Ediciones y Publicaciones, S.A.

BAIL Benito, “Diccionario de Arquitectura Civil ”, México, 1990, Ed. Hermon.

BÜHLER, Dirk, “Puebla. Patrimonio de arquitectura civil del virreinato”, Alemania, 2001, Deutsches Museum, München, e ICOMOS.

CARBONELL De Masy, Manuel. “Conservación y Restauración de Monumentos. Piedra, Cal, Arcilla”, Barcelona, 1993, Vanguard Gráfico.

ESTEVA Loyola, Ángel. “Universo de los Estilos en la Arquitectura”, México, 1993, Ed. Hermon.

FLORES Gonzáles. Sergio, “Políticas para el Desarrollo de los Centros Históricos de México”, México, 1998, Porrúa.

FULLER, Moore. “Compresión de las Estructuras en Arquitectura”, México, 2001, Unilibro.

FR. Laurencio de S. Nicolás, “Arte y Uso de la Arquitectura”, México, 1996, Ed. Vanguardia.



GARCÍA Palacios, de Juárez Emma. “Monumentos de la Ciudad de Puebla”; Estado de México; 2010, editorial Serie Fundación.

García Salinero, Fernando “Léxico de Alarifes de los siglos de oro”, México, 1995, Ed. Porrúa.

GOBIERNO del Estado de Puebla, “Historia de la fundación de la Ciudad de la Puebla de los Ángeles”, Puebla, 2010, Secretaria de Cultura.

GOBIERNO Municipal de Puebla; “Guía arquitectura significativa de la ciudad de Puebla” Puebla, 2010, Ayuntamiento de Puebla.

GONZALES Avellaneda Albert, et. al., “Manual Técnico de Procedimientos para la Rehabilitación de Monumentos Históricos del Distrito Federal”, México, 2010, Ed. INAH.

INSTITUTO Nacional de Antropología e Historia, “Manual de Mantenimiento de Monumentos Históricos” México, 1984, INAH.

JIMÉNEZ Ramírez, Mauricio Benjamín. “Uso de la Cal en Edificaciones de Tierra” en Seminario Taller de Pintura Mural, México, Escuela de Conservación y Restauración de Occidente.

KANAN, María Isabel. “Argamasa de cal en la restauración de fortificaciones” en Revista Apuntes.

KUBLER, George. “Arquitectura Mexicana del Siglo XVI”, México, 2012, Fondo de Cultura Económica.

KATZMAN, Israel. “Arquitectura del Siglo XIX en México”, México, 2002, Editorial Trillas.

MANSBRIDGE, John. “Historia Gráfica de la Arquitectura”, Argentina, 1969, Ed. Vitor Lerú



MARÍN, de L Hotellerie. “Arquitectura Prehistórica Europea”, Barcelona, 1981, Editorial Española.

MELI. Roberto “Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos”, México 2010, Fondo de Cultura.

MANGINO Tazzer, Alejandro. “La Restauración Arquitectónica. Retrospectiva Histórica en México” México, 1991, Trillas.

MANGINO. Tazzer, “La restauración Arquitectónica”, México, 2000, Trillas.

MOORE, Fuller. “Compresión de las Estructuras en Arquitectura”, México, 2000, Litográfica Ingramex.

PALADIO Vicentino Andrés (traducido por Ortiz y Sanz Josphe FRANCISCO) “Los Quatro Libros de Arquitectura”, México, 1985, Editorial Porrúa.

PIJOAN, José. “Historia Universal”, Barcelona, 1980, Salvat Editores, S.A.

PRADO Núñez, Ricardo. “Procedimientos y Restauración y Materiales”, México, 2000, Trillas

ROJAS, Pedro. “Historia General del Arte Mexicano”, México, 1963, Hermes, S.A.

SÁNCHEZ Montañes, Emma. “El Arte Precolombino”, España, 2000, Promo Libro.

SECRETARIA de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.” Vocabulario Arquitectónico Ilustrado”, México, 1978, SAHOP.

SECRETARIA de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.” Centros Históricos. Vocabulario”, México, 1980, SAHOP.



TERÁN Bonilla, José Antonio. “Arquitectura y Urbanismo del Centro Histórico de la Ciudad de Puebla 1531-1917”, Puebla, México, 2010, Lunarena.

TERÁN Bonilla, José Antonio. “La Construcción de las Haciendas de Tlaxcala”, México, 1996, Instituto Nacional de Antropología e Historia.

VAN Lengen, Johan. “Manual del Arquitecto descalzo”, México, 1990, Planet.

VELÁZQUEZ Carmona, Manuel. “Libro Desarrollo Urbano en México. Restauración. Monumentos Nacionales” México, 1982, SAHOP.

VITRUVIO Marco Lucio (traducido por blánquez Agustín) “Los diez libros de Arquitectura”, México, 1980, Editorial Porrúa.

WWW. Diccionario de la Real Academia Española “accesado 16 de Julio 2014”.

WWW. Wikipedia enciclopedia libre “accesado 10 de Agosto 2014”.

WWW. Grupo Calidra.com.mx “accesado 2 de Julio 2010”.