



LA CAL DE ALTA PUREZA EN LA CONSERVACIÓN

www.oxical.mx



TEOCALI
Cal que restaura la historia

RESTAURACAL®

2da Edición, ampliada. 2017

2da Edición, ampliada. 2017

Créditos:

Documento

Arq. María Estrella Soledad Carvajal
Arq. Catalina Castilla Morales
M. Arq. Gelvin Xochitemo Cervantes
Ing. Mario Cuan Rojas
Ing. Ramón Osorio González
Ing. Mario Cuan Alarcón

Ilustraciones

Kimberly Bárcenas Hernández

Diseño Editorial

Diana Enriqueta Sánchez Cortés
Tere Rodríguez Fabre

Informes

Km. 5.8 Carretera Federal
Tepeaca–Tecali
Tecali de Herrera, Puebla

Tels. +52 (222) 211-24-70
237-86-35

Informes: info@oxical.mx

CONTENIDO

LA CAL EN LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL	4
CICLO NATURAL DE LA CAL AÉREA: PROCESO DE ELABORACIÓN	5
USO EN CONSERVACIÓN	6
DAÑOS POR EL USO DEL CEMENTO PORTLAND	7
VENTAJAS DE LA CAL EN LA CONSERVACIÓN	9
CAL DE ALTA PUREZA	10
DIFERENCIAS ENTRE CAL DE ALTA PUREZA Y CAL COMÚN	11
APAGADO: CAL DE ALTA PUREZA EN FORMA DE PASTA	13
EFFECTOS DEL AÑEJAMIENTO	14
USO DE ARGAMASA (MORTERO) DE CAL DE ALTA PUREZA	16
APLICACIÓN ESTRUCTURAL	17
APLICACIÓN EN ACABADOS FINOS	20
IMPERMEABILIZANTE BASE CAL DE ALTA PUREZA	23

LA CAL

EN LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL

La Cal es uno de los materiales más utilizados por el hombre a lo largo de la historia para diversas finalidades que van desde la construcción hasta la producción de alimentos.

Se trata del compuesto natural indispensable para la preparación de argamasa (mortero de Cal) con características versátiles y compatibles con diversos materiales a lo largo de la historia de la construcción.

La Cal resulta de la calcinación de piedra caliza (CaCO_3 carbonato de calcio), proceso del que se obtiene la Cal Viva (CaO Óxido de Calcio), la cual después se puede apagar con agua (H_2O) para convertirse en Cal en forma de Pasta ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ hidróxido de calcio).

Es un producto que ha resistido con éxito la prueba del tiempo. Históricamente, la Cal se empleó desde la antigüedad en sorprendentes construcciones internacionalmente conocidas por su solidez y resistencia a lo largo

del tiempo, como La Vía Apia, Las Pirámides de Egipto, La Muralla China, El Coliseo Romano, las Pirámides de Teotihuacán y las del área Maya o las antiguas construcciones Toltecas, por sólo mencionar algunos ejemplos.

Cabe mencionar la notable compatibilidad de la Cal con las arcillas, lo que permite una relevante participación en la conservación de edificios construidos con tierra.

También destaca su uso en la pintura mural y frescos de todos los periodos.

Otro ámbito de importancia cultural es la nixtamalización, proceso de cocción del grano de maíz con agua y Cal para convertir el maíz en masa, tortillas y variados alimentos de maíz. Este proceso milenario, de origen mesoamericano, aumenta el valor nutritivo del maíz y forma parte de la lista representativa del Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad reconocido por la UNESCO como procedimiento de preparación culinaria.

CICLO NATURAL

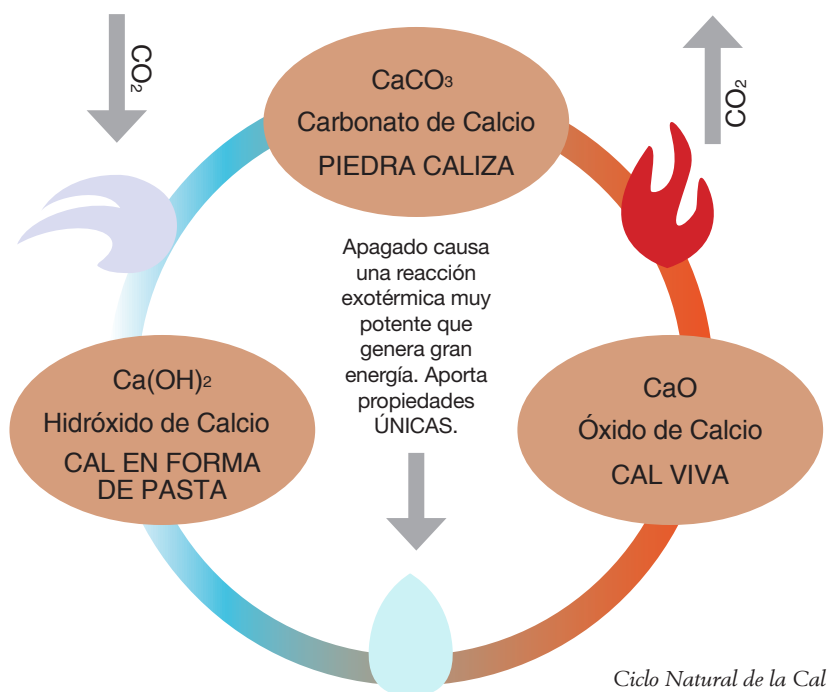
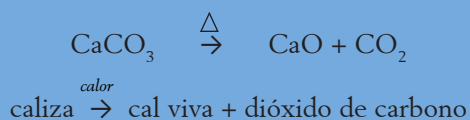
DE LA CAL AÉREA: PROCESO DE ELABORACIÓN

La Cal aérea requiere del dióxido de carbono (CO_2) para su endurecimiento, a diferencia de la Cal hidráulica que endurece con el agua.

El proceso de elaboración de la Cal puede resumirse en cuatro fases: extracción, calcinación, apagado y envasado.

1. Extracción, que consiste en desmontar el área donde exista un yacimiento de caliza, descapotar y posteriormente barrenar aplicando el plan de minado que se haya diseñado; enseguida se pone la carga de explosivos y se procede. El carbonato de calcio (CaCO_3) abunda en la naturaleza en forma de rocas calizas.

2. Calcinación, es el proceso directo de la caliza, a temperaturas superiores a 900°C . En esta etapa, las rocas pierden dióxido de carbono (CO_2) lo cual da origen al óxido de calcio o Cal Viva (CaO). Esta disociación del carbonato de calcio en óxido de calcio puede ser representada mediante la siguiente ecuación química:

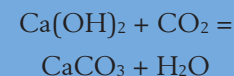


Para evitar que después del horneado queden núcleos o piezas de roca sin calcinar es necesario inspeccionar cuidadosamente este proceso mediante observación directa.

3. Apagar, es introducir las piedras calcinadas en agua almacenada en artesas, agitar hasta que se forme la Pasta. Después cernir para separar grumos.

4. Envasado y embarque, necesarios para que la Cal en forma de pasta pueda ser suministrada sin perder sus propiedades de pureza, blancura, tamaño, densidad y reactividad.

Una vez que la Cal en forma de Pasta se seca, captura el dióxido de carbono (CO_2) del aire, hace una reacción con lo que se regenera la caliza de origen y hace que adquiera dureza y resistencia. Es un compuesto químicamente idéntico a la roca caliza que se empleó para la producción de Cal. Este proceso, el cual cierra el ciclo natural, se denomina carbonatación.



USO EN CONSERVACIÓN

La Cal constituye el material aglutinante tradicional más utilizado en la historia de la construcción de edificios. Es conocida por su utilidad desde las épocas más antiguas conocidas:

Egipto

Se usó en enlucidos, pintura al fresco, juntas de piedras, en canalizaciones, mezclada con arcilla, de las pirámides y en las tumbas faraónicas de más de 8 mil años de antigüedad.

Palestina

Se encontraron restos de cal en la ciudad de Jericó con 10 mil años de antigüedad.

Mesopotamia

Se usó para revestimiento de muros, canalizaciones de agua, baños y aljibes de templos, tumbas o viviendas.

Turquía

Se encontró el fresco más antiguo conocido de 8 mil 200 años de antigüedad.

Grecia y Roma

Se usó de manera masiva en las edificaciones para el asentamiento de piedras de sillería, juntas, revestimiento de muros con morteros y frescos de variados colores, en cimentaciones mezcladas con cascajo, en baños, aljibes y canalizaciones.

Árabes y Mozárabes

La usaron de igual forma, y particularmente en sus tan bien logradas decoraciones mediante acabados finos.

transpirar los muros haciendo salir la carga de humedad existente, funcionando al mismo tiempo como capa protectora para los materiales originales, ya sea piedra, cantería, tierra o ladrillo.

Una vez que la Cal se utiliza, empieza a carbonatarse, desde la superficie hacia dentro, conservando elasticidad, gracias a la cual tiene un comportamiento mecánico mejor que el cemento Portland.

La Cal en forma de Pasta, después de carbonatarse completamente, retorna a su estado original en la cantera, que es el de roca caliza (carbonato de calcio CaCO_3).

Cabe mencionar que la Cal debe ir combinada con agregados para su óptimo funcionamiento.



Gracias a la Cal se hizo posible la arquitectura monumental, **siendo el medio de cohesión para la integración de la geometría a tres dimensiones**, generando formas y forjas constructivas en un proceso evolutivo de gran valor.



ARQ. JOSÉ LUIS GALICIA OSORIO

Sólo la Cal tiene capacidad bioclimática y es capaz de conservarse en perfectas condiciones durante siglos, ya que deja

DAÑOS

POR EL USO DEL CEMENTO PORTLAND

A inicios del siglo XX, la Cal perdió su papel preeminente como elemento principal en los morteros ante la reciente aparición y comercialización masiva del cemento Portland: su dureza y aparente resistencia, su facilidad de preparación y su fraguado rápido lo popularizaron rápidamente.

Se consideró al cemento Portland como un material "eterno", que solucionaría muchos problemas: era aparentemente de uso más fácil que el de la argamasa (mortero de cal), especialmente por su celeridad en el fraguado que permitía apresurar la velocidad de las construcciones. Los sistemas constructivos se modificaron notoriamente.

Existe certeza de que el cemento Portland jamás se utilizó para construir en ninguna parte del mundo antes de 1824, año en el cual fue inventado en Inglaterra. Para fines prácticos su utilización comenzó en Europa en las décadas subsiguientes. Fue hasta el siglo XX cuando el cemento Portland predominó en buena parte del planeta. Relativo a la milenaria historia de la construcción, se podría decir que el cemento Portland es un material constructivo reciente. Nota: favor de no confundir al cemento Portland con el milenario cemento Romano el cual se conforma de mortero de Cal con propiedades hidráulicas, es decir que endurece en contacto con el agua.

Además de la construcción nueva, el dominio del cemento Portland también

alcanzó a la conservación en todo tipo de edificaciones patrimoniales. No obstante, algunas décadas después, los daños evidentes al patrimonio edificado ocasionados por el cemento Portland llevaron a rediseñar las técnicas en el campo de la conservación a nivel mundial, dando pauta a la generación de nuevos documentos internacionales y recomendaciones para utilizar técnicas tradicionales y materiales compatibles con materiales originales. A raíz de los efectos frecuentemente devastadores del cemento Portland en los edificios patrimoniales alrededor del mundo, se ha buscado recuperar conocimientos o revivir tradiciones sobre diferentes modos de preparar la Cal y utilizarla para tratamientos de conservación.

Misma causa y efecto en lo relacionado con aditivos sintéticos, pinturas vinílicas e impermeabilizantes acrílicos.

“Joseph Aspdin, un albañil de Wakefield, realiza en 1824 una patente para el cemento que produce, cemento que afirma ser "tan duro como la piedra de Portland" (éste es el origen del llamado "cemento Portland", actualmente dado al cemento corriente, ya que la naturaleza y características de este último son muy diferentes). L.C. Johnson descubrió que el clínker, obtenido por fusión parcial de los elementos constitutivos de la primera materia sobrecalentada y que hasta entonces había sido echado como desecho inutilizable, da unos resultados mucho mejores que el cemento usual, a condición de ser finamente molido.”

Extracto del libro "Artes de la Cal" de Ignacio Gárate Rojas, Doctor en Arquitectura, académico de la Real Academia de Bellas Artes de Granada, España.

Es el producto que procede de la molienda del clinker obtenido del horno a unos 1,450°C y adicionalmente una pequeña cantidad de yeso, el que nosotros llamamos hoy cemento "Portland".

La exposición universal de 1891 permitió una demostración del nuevo producto y le dio una gran publicidad. A partir de ese momento, la mayor parte de los fabricantes de aglomerantes practicaban la calcinación a alta temperatura, y la Cal cada vez fue más reemplazada por el cemento".

La composición mineralógica del clinker está constituida por cuatro fases mayoritarias: Silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) o Alita (C_3S), silicato bicálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) o Belita (C_2S), aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) o (C_3A) y ferritoaluminato tetracálcico ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) o (C_4AF). También existen otras fases minoritarias, como sulfatos alcalinos, óxido de magnesio y óxido de Calcio (cal libre), esta última es fundamental en el proceso de producción y de calidad de un clinker.

“De acuerdo al balance de energía 2009 la distribución del consumo de energía dentro del sector industrial de las ramas más intensivas en el uso de energía, la industria cementera representó el 9.6 %, con lo cual se sitúa junto con la siderurgia como una de las industrias más intensivas en el rubro. En el Inventario Nacional de Emisiones de Gases con Efecto Invernadero 2006 (INEGI) se publicó que la contribución en emisiones de CO2 por el uso de combustibles en la manufactura del cemento fue del 18.8 % solo debajo de la de hierro y acero, la cual representó el 26.9 %. Y a nivel mundial la industria del cemento mexicana genera el 5 % de las emisiones globales”.

Extracto Tesis Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado de Ingeniería, Energía – Procesos y Uso Eficiente de Energía “Análisis Exergo-económico de una Planta Productora de Cemento (CPO)”, Yazmin Nayeli López Jaimes.

Una composición mineralógica típica de un clinker puede ser, 60% Alita, 20% de Belita, 6% de Aluminato, 12% de Ferritoaluminato cálcico y 2% de componentes minoritarios. La Alita (C_3S) es el compuesto mayoritario del clinker, es decir, el que tiene mayor porcentaje en peso.

VENTAJAS

DE LA CAL EN LA CONSERVACIÓN

Algunas de las ventajas que ofrece la Cal versus el cemento Portland en la conservación del patrimonio histórico son:

- Compatibilidad con materiales originales.
- Durabilidad. Entre más tiempo pasa, mejor.
- Proceso químico de endurecimiento (carbonatación); las argamasas (mortero de cal) capturan CO₂
- Menos energía requerida en el proceso de fabricación.
- Cero eflorescencias (salitre).
- Mayor plasticidad y adherencia.
- Capacidad bioclimática y transpiración: permite el movimiento del agua y respirar a los inmuebles.
- Reversibilidad.
- Aspecto.
- Etcétera...

Hoy el mundo se beneficia de los materiales constructivos contemporáneos como los cementos Portland, concre-

“

TODO sirve para algo,
nada sirve para TODO

”

tos, mallas electrosoldadas, fibras de polipropileno, aditivos sintéticos, polímeros, adhesivos, resinas epóxicas, resinas expansivas, selladores vinil acrílicos, esmaltes alquidales, pinturas vinílicas y acrílicas, pigmentos artificiales, colorantes, impermeabilizantes acrílicos, asfálticos, poliuretanos, y demás.

Sin embargo, estos materiales de vanguardia suelen resultar contraproducentes, incompatibles e innecesarios para intervenir bienes inmuebles construidos originalmente sin ellos. La mayoría de los edificios considerados como históricos, de origen carecen de estos productos tecnológicos; debido a que no existían todavía al momento de ser erigidos. Aun así, el patrimonio edificado ha perdurado en el tiempo, gracias -en parte- a la presencia de la Cal de Alta Pureza.

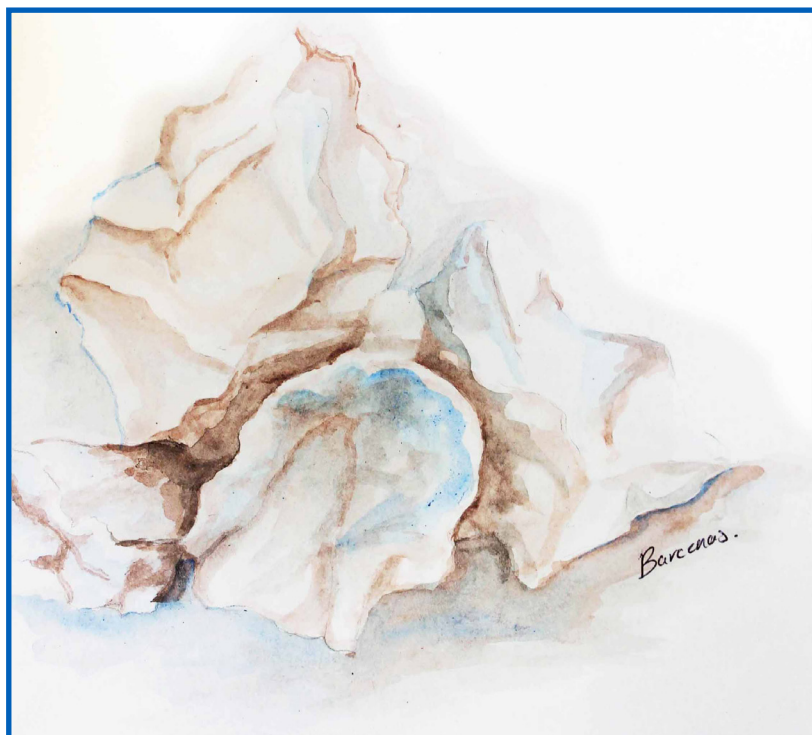
CAL

DE ALTA PUREZA

Debido a su Alta Pureza, la Cal desempeñó a lo largo de los siglos su vocación de cementante por excelencia. Sin embargo la modernidad y el crecimiento explosivo de la industria de la construcción en el siglo XX, impulsó la novedad del cemento Portland como conglomerante principal junto con otros materiales sintéticos en las obras nuevas; desplazando así a la Cal de Alta Pureza con la introducción de una cal novedosa e industrializada, pero de bastante menor pureza. Dicha cal industrializada fungiría en adelante como agregado (carga) en las mezclas de cemento Portland. Esto diluyó la vocación original de la Cal para convertirla desde el siglo XX en un elemento auxiliar en las mezclas de cemento Portland y en los concretos.

Podemos afirmar entonces que cuando se utiliza correctamente, la Cal de Alta Pureza es el mejor y más versátil cementante del mundo, puesto que puede asegurar compatibilidad y continuidad en el comportamiento de los edificios, llámense arqueológicos o históricos.

Se llama Cal de Alta Pureza al producto resultante de una calcinación efectiva que produce Cal con alto porcentaje de óxido de calcio (hasta 96% de CaO).



La Cal Viva requiere un embalaje adecuado para conservar el material tan seco como sea posible; minimizar la exposición al aire y a la humedad para evitar degradación. Puesto que el óxido de calcio se clasifica como irritante para la piel, tiene que minimizarse la exposición cutánea tanto como sea técnicamente viable. Se requiere el uso de guantes. Debe utilizarse protección ocular.

La reducción progresiva del uso de la Cal de Alta Pureza durante el S.XX, derivó en una disminución considerable de los conocimientos para su uso, preparación y aplicación.

DIFERENCIAS

ENTRE CAL DE ALTA PUREZA Y CAL COMÚN

“Cal” es un término genérico. Típicamente se le nombra “Cal” a una serie de materiales parecidos, pero que son distintos. Sin embargo, distinguir uno de otro puede requerir algunas consideraciones.

Debido a la variedad de los procesos de producción, las cales presentan diferentes tipologías y características tanto físicas como químicas. Poder diferenciar los tipos de cales es esencial, ya que esas distinciones en sus propiedades son determinantes durante su comportamiento y desempeño en la conservación del patrimonio edificado.

Algunos de los autores de este trabajo han evaluado y documentado diferencias en cuanto a propiedades estructurales, físicas, químicas y mecánicas entre cales áreas. Principalmente entre los dos tipos de cales áreas disponibles en el mercado al momento de intervenir bienes culturales: (1) la Cal de Alta Pureza y (2) las *cales comunes*.

El conjunto de *cales comunes* incluye a todas aquellas industrializadas cuya presentación típica contiene 25Kg de cal hidratada en polvo seco, empaçada en bolsa de papel. Independientemente a la enorme variedad de marcas comerciales, en función de la región geográfica, tienden a aparecer diversos mote para denominar a las

Cal hidratada comercial, cal común: cal hidratada, comercial, de saco, de albañilería, química, etc.



cales comunes: hidróxido de calcio, cal, cales de bulto, cales de albañilería, cales hidratadas* comerciales, “calhidras”, cales comerciales, cales industriales, cales químicas, etcétera. Dentro del grupo de las *cales comunes*, la mejor versión le denominan cal química (que denota la industria para la cual fue creada).

En contraste, la Cal de Alta Pureza sigue siendo el cementante por excelencia que tanto sirvió durante la historia de la construcción y cuyo legado se puede disfrutar aún en el S.XXI. Esta Cal tradicional que proviene de una Cal Viva con disponibilidad de CaO de 92-96% trabaja estructuralmente sin necesidad de combinarse con cemento Portland ni aditivos sintéticos.

***Nota:** favor de no confundir a las cales hidratadas con las cales hidráulicas. Cuando el Imperio Romano requirió una Cal que “fraguara” bajo el agua, como en las obras lacustres y fluviales, se observó que ésta se lograba agregando arcillas. Se descubrió así la Cal hidráulica o cemento romano.¹

¹ Evitar confundir con cemento Portland, inventado en 1824 en laboratorio, en Portland, Inglaterra.

Por otro lado, la distribución granulométrica de las *cales comunes* (polvo seco malla 100 a 200), imposibilita distinguir de manera visual o táctil sus impurezas, caliches y crudos (materia prima que no alcanzó a calcinarse). Preferiblemente, antes de adquirir o aplicar cualquier Cal, se sugiere analizarla en laboratorio: prueba de disponibilidad de CaO bajo la norma internacional ASTM C-25. Esto debido a que el CaO es el compuesto químico determinante en los trabajos constructivos con Cal.

Cuando sea posible, ayudará visitar el horno donde sucede la transformación del CaCO_3 en CaO. Éste último, el CaO o Cal Viva, es la fase que conviene medir con mayor precisión. Para esto, los indicadores principales son: disponibilidad de CaO (pureza), densidad, reactividad, tamaño de grano, tipo de canto, color, etcétera.

Aclaración: Apagar Cal Viva será mejor que re-hidratar *cales comunes*. El concepto de “Cal apagada en obra” (el cual restringe la utilización de cemento Portland, aditivos sintéticos y similares) en la actualidad aparece frecuente y atinadamente en catálogos para intervenir edificaciones históricas. Sin embargo, la generalización del vocablo “Cal” provoca que en ocasiones se empleen *cales comunes*, incluidas las denominadas *cales químicas*. Empero cuando las *cales comunes* (cal hidratada) se sumergen en agua, se efectúa una re-hidratación, en vez de un apagado. Hay que recordar que las *cales comunes* ya han sido previamente hidratadas; de tal modo que es imposible apagarlas de nuevo en obra. Una evidencia es la nula reacción exotérmica (cero incremento de tempe-

ratura), cuando las *cales comunes* entran en contacto con el agua. Otra prueba es las bolsas o sacos de papel dentro de los que las *cales comunes* son envasadas; tales sacos de papel no podrían proteger suficientemente a la Cal Viva. Como su nombre lo indica, la Cal “Viva” es la única susceptible de ser apagada en obra.

Los inconvenientes van más allá del trabajo ocioso y laborioso de re-hidratar *cales comunes* en obra; re-hidratar resulta perjudicial ya que se rebaja, diluye y debilita el material. El concepto “Cal apagada en obra” supone la utilización de Cal “Viva” para ser apagada en la obra, o bien la adquisición de Cal en forma de Pasta a partir de Cal Viva apagada en artesa tradicional, con características equivalentes o mejores que las de la “Cal apagada en obra”. Normalmente se encuentran en presentación de tambo de plástico o cubeta.

La Cal de Alta Pureza en forma de Pasta supera a las *cales comunes* tanto en sus propiedades químicas y físicas como en su desempeño y rendimiento. Análisis de DRX, revelan que -en comparación con *cales comunes* o *cales químicas*- la Cal de Alta Pureza ofrece una mayor disponibilidad de CaO, el cual es el compuesto clave dentro del ciclo de la Cal responsable de la carbonatación, el endurecimiento y el funcionamiento como cementante.

De acuerdo a la norma ASTM C-143-00, la Cal de Alta Pureza ha mostrado plasticidad superior, mientras que las *cales comunes*, carecen de plasticidad y cohesión suficientes para funcionar adecuadamente sin acompañamiento de cemento Portland y/o aditivos.

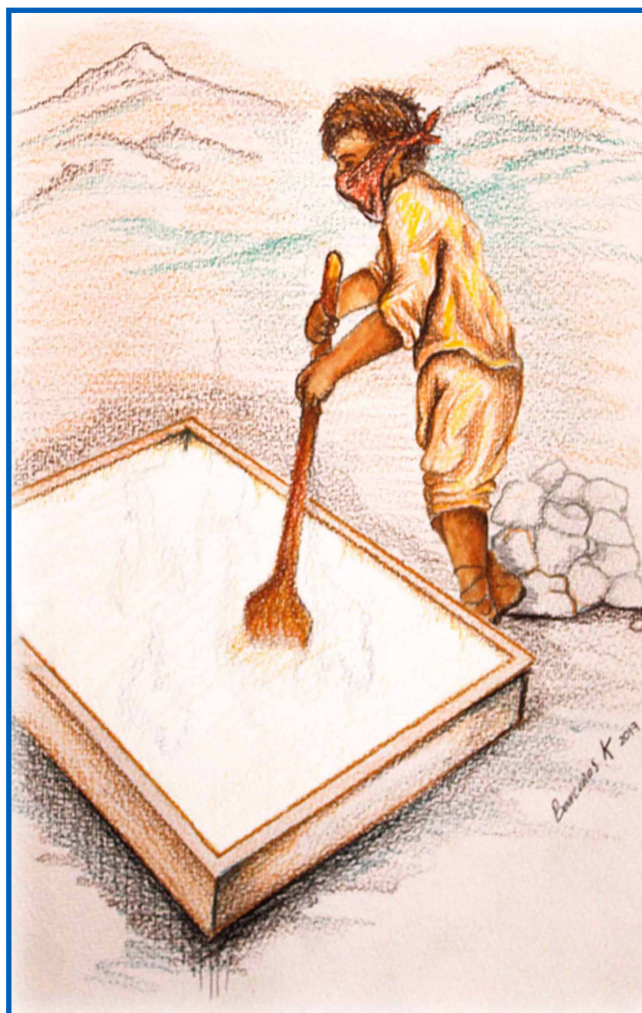
APAGADO:

CAL DE ALTA PUREZA EN FORMA DE PASTA

El apagado es un proceso mediante el cual el óxido de calcio (CaO) en piedra, obtenido de la calcinación de rocas de origen sedimentario (calizas), transforma su estado de Cal “Viva”, a forma de Pasta, por medio de contacto con suficiente agua, meneo y ceruido. Para así poder ser utilizada en la elaboración de argamasa (mortero de Cal), pintura a la Cal, impermeabilizante, etcétera.

Cuando se apaga Cal Viva de Alta Pureza, ésta es depositada en un contenedor que permite el proceso de apagado, para lo cual se utiliza una artesa (tipo tina) en donde se agrega un volumen de agua hasta un nivel en el cual se logre cubrir por completo. Posteriormente se irán incorporando las piedras de Cal Viva al agua, lentamente, para evitar algún tipo de accidente. El óxido de calcio (CaO) o Cal Viva de Alta Pureza provoca una reacción exotérmica al contacto con el agua, haciendo que ésta alcance $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Una vez lograda la Pasta, se remueve con la batidera o azadón, incorporando agua hasta llegar a un nivel óptimo. Antes

Apagado tradicional de cal viva



hay que evaluar, medir y controlar la calidad del agua.

Posterior al apagado, se deja añejar o reposar (en algunas zonas se conoce popularmente como deja “podrir” la Cal). Durante el añejamiento se deberá verificar que la superficie no quede seca; siempre tener un espejo de agua que la proteja del aire a manera de barrera. El periodo mínimo recomendado para que esta Cal de Alta Pureza en forma de Pasta pueda ser utilizada en la conservación de edificios es de seis meses; cuanto más tiempo pase en reposo, mejor comportamiento tendrá, carbonatándose de forma óptima durante sus diferentes usos. Por supuesto, no todas las caleras ofrecen la misma pureza de producto; cuanto mayor porcentaje de óxido de calcio contenga la Cal Viva, mejores características ofrecerá la Cal en forma de Pasta. La recomendación para un comprador de

Cal es comprobar la disponibilidad de CaO (porcentaje de óxido de Calcio) de la “Cal”.

Antes de su utilización, la Cal de Alta Pureza en forma de Pasta deberá ser colada con cernidor, dejándola libre de grumos que pudieran modificar su desempeño. En función de cada aplicación, será el número de malla o tamiz; se recomienda no rebasar un milímetro de abertura.

Nuevamente, en algunos lugares persiste una confusión respecto a la “Cal apagada en obra”: la “re-hidratación” de las cales comunes. Lo único que se logra es diluir el componente de óxido de calcio, con lo cual disminuye el desempeño del material. El proceso de re-hidratación de las cales comunes o cales químicas (en el mejor de los casos), resulta trabajoso e innecesario debido a que prácticamente no agrega valor ni beneficio al resultado final.

EFFECTOS DEL AÑEJAMIENTO

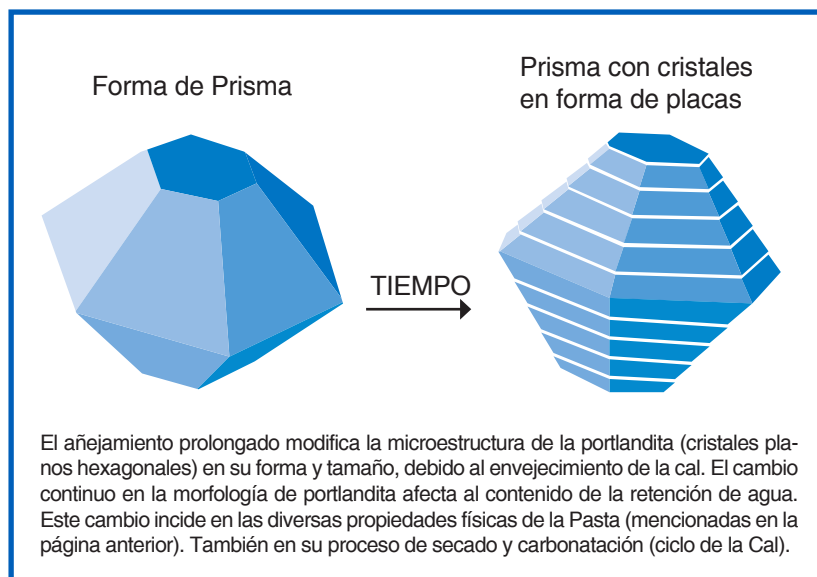
El añejamiento se refiere al reposo y tiempo que debe permanecer la Cal de Alta Pureza en forma de Pasta bajo el agua, antes de ser utilizada. Mientras más prolongado sea el tiempo, se obtendrán mejores resultados; es decir, a mayor añejamiento, mejor desempeño.

Las ventajas al añejar la Pasta son:

- Disminución de agrietamientos y fisuras.
- Mayor plasticidad y “cremosidad”.
- Mayor “maleabilidad” y retención de agua.
- Incremento en la adhesión y viscosidad.
- Carbonatación más completa.
- Mejora en la efectividad y el rendimiento.
- Evita el palomeo. Cuando partículas de Cal no apagada se escabullen y reaccionan exotérmicamente con el agua, pero hasta después de haber sido aplicadas sobre una base, generando imperfecciones notorias.
- Disminución de la necesidad de aditivos o suplementos que aportan consistencia.
- Mejor integración con agregados o pigmentos naturales.
- Ahorro de tiempo y simplificación al aplicar.
- Etcétera...

Las aplicaciones en las cuales la Cal de Alta Pureza en forma de Pasta con añejamiento mayor a 60 meses es más recomendable:

- Pintura al fresco
- Restauración de pintura mural
- Enlucidos
- Bruñidos



- Inyección de grietas y oquedades
- Juntas
- Relleno de fisuras
- Relieves
- Resanes
- Ribetes
- Aplanados o pisos de sacrificio
- Estucados
- Reintegración volumétrica
- Tadelakt

El factor del tiempo de añejamiento o edad de la Cal de Alta Pureza en forma de Pasta se explica por cambios en la microestructura, representada con los arreglos cristalinos (invisibles al ojo humano). Para ello se recurre a laboratorios y microscopios con tecnología apta.

Generación tras generación, maestros han aplicado, sentido y conocido profundamente este material. Han coincidido cómo el efecto del añejamiento prolongado otorga notables ventajas; sin embargo hasta tiempos recientes se han logrado entender científicamente algunas de las causas de tales beneficios.

USO DE ARGAMASA

(MORTERO) DE CAL
DE ALTA PUREZA

La aplicación de la argamasa (mortero) de Cal de Alta Pureza en construcción se remonta a edades antiquísimas; incluso se han encontrado restos provenientes de la etapa neolítica. Los egipcios lo utilizaron, aunque la argamasa se empieza a generalizar en la cultura griega para los revestimientos en el siglo VII a.C. Los romanos son los que desarrollan la técnica y logran la perfección de las argamasas.

Cuando se usa apropiadamente, la Cal de Alta Pureza es excepcionalmente durable. Por solo mencionar un ejemplo de esta propiedad de la Cal: el Panteón Romano, cuya cúpula, que se eleva a 45 metros sobre el nivel de piso terminado, fue construida con argamasas (morteros) de Cal de Alta Pureza y mantiene su funcionalidad en la actualidad.

La argamasa (mortero) de Cal de Alta Pureza se compone de un agregado, de conformidad con el uso para el cual se vaya a destinar y Cal de Alta Pureza

en forma de Pasta, en la proporción y edad adecuadas para el trabajo estructural u ornamental; a veces agregando agua y aditivos naturales, en las ocasiones cuando realmente se requiera. Una vez mezclados los materiales, la argamasa quedará lista para aplicarse.

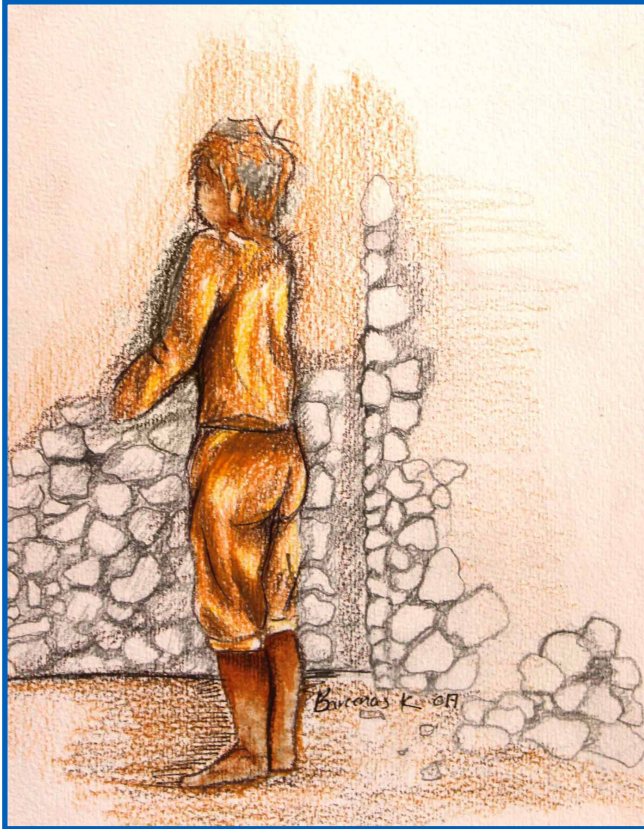
La Cal de Alta Pureza es un elemento que proporciona a las argamasas el efecto de un lubricante, y permite aumentar la plasticidad, “trabajabilidad”, adherencia, entre otras propiedades. Las argamasas se ocuparán para las integraciones, sustituciones, consolidaciones de elementos constructivos, etcétera.

Otros agregados compatibles con la Cal son: arena, arcillas, arena de tezontle, marmolina, tepetzil, grava, tepetate, Saskab, y muchos más.

Siempre deberá cuidarse la superficie donde se aplica: libre de impurezas tales como basura, mugre, excretas, flora, fauna, etcétera.

APLICACIÓN **ESTRUCTURAL**

Mamposteo



La aplicación de la argamasa (mortero) de Cal de Alta Pureza es ideal para la estructuración y reestructuración de los monumentos históricos y arqueológicos. La podemos encontrar en diversos elementos estructurales de una construcción. Está presente en cimentaciones (corridos, aislados, adosados), muros, arcos y bóvedas de diversos materiales (de plementería de piedra, de ladrillo y combinados), siendo importante resaltar la compatibilidad con los diferentes materiales y sistemas históricos.

Los principales elementos estructurales en los cuales se recurre a la argamasa (mortero de Cal de Alta Pureza) son: cimentaciones, contrafuertes, columnas, mamposterías, muros de contención, arcos, bóvedas, cúpulas, juntas, aplanados, entre otros.

ARGAMASA DE ASIENTO (MORTERO DE ASIENTO)

La argamasa (mortero) de Cal de Alta Pureza se utiliza entre la mampostería, las dovelas, los sillares de piedra o ladrillos y se conoce comúnmente como mortero de asiento, que como su nombre lo indica, sirve como elemento de asiento o unión, mismo que resuelve la transferencia de los esfuerzos entre los materiales que componen los elementos arquitectónicos de los edificios. Las características plásticas de esta argamasa (mortero) de Cal de Alta Pureza son las que permiten absorber los movimientos diferenciales de las estructuras históricas sin adicionar efectos de rigidez². Recordar que a diferencia de los sistemas constructivos contemporáneos, los históricos fueron concebidos y compuestos por multiplicidad de piezas unidas (seccionadas y dimensionadas por medio de varas).

Las argamasas de asiento también son utilizados en el armado de arcos de todo tipo: jambas, dinte-

2. La rigidez se da por utilización del cemento Portland. El uso de Cal de Alta Pureza, sin cemento Portland, contribuye a la flexibilidad de los materiales de un edificio patrimonial.

les, platabandas y otros elementos de cerramiento. De igual forma se usó en caminos y pisos ubicados tanto en interiores como en exteriores.

INYECCIÓN DE GRIETAS Y FISURAS

Al considerar las ventajas de la argamasa (mortero) de Cal de Alta Pureza, en cuanto a trabajo estructural, se utiliza para realizar diferentes acciones encaminadas a devolver el comportamiento mecánico a los elementos arquitectónicos dañados.

Inyección de grietas



De acuerdo con lo anterior, la mezcla de Cal-arena en combinación con aditivos naturales (como el mucílago de nopal), es utilizada para inyectar huecos generados a partir de grietas y fisuras que pueden ir de superficiales a profundas.

Para estos efectos se maneja la mezcla citada con diversos grados de dilución, buscando siempre su intrusión total en las cavidades existentes, con

la finalidad de devolver la solidez a los elementos, así como regresar el comportamiento estructural volumétrico.

REJUNTEO

Un uso adicional de la Cal de Alta Pureza en forma de Pasta Añeja, es el de integrar o restituir las juntas expuestas de los materiales que componen los elementos arquitectónicos y que al perderse constituyen un punto principal de entrada para la humedad.

Las juntas en los elementos de apoyo corrido, aislado y adosado de un edificio histórico constituyen la parte visible entre los diferentes materiales utilizados, por lo que al presentarse su pérdida, se inicia un proceso de deterioro que afecta el comportamiento estructural y el aspecto ornamental.

La eliminación de aplanados en muros principalmente, incide de manera directa en el proceso de pérdida de juntas entre materiales (piedra, ladrillo, adobe, etc.), lo cual puede llegar a desestabilizar estructuralmente los mampuestos, independientemente de generar un conducto directo para introducir humedad hacia el núcleo del elemento constructivo.

De la misma forma, las argamasas (morteros) de Cal de Alta Pureza se utilizan para integrar rajueos en las juntas, cuando quedan expuestas por motivos ornamentales o técnicos.

APLANADOS

Otro de los usos de las argamasas (morteros) de Cal de Alta Pureza es el de funcionar como la capa pro-

tectora de los diferentes elementos arquitectónicos que componen a los edificios históricos. Este uso se fundamenta en la propiedad de la mezcla, dado que en el proceso de secado y carbonatación (fraguado) permiten que se dé la “respiración” de los materiales pétreos, térreos o cerámicos que conforman las estructuras.

Es importante señalar que los inmuebles construidos durante la época virreinal, incluso durante una gran parte de las etapas posteriores requieren de aplanados en sus superficies para evitar el deterioro de los materiales que los componen, obstaculizando la acción de la humedad y del viento entre otros factores ambientales y sociales.

“EN EL OFICIO ANTIGUO DE REVOCOS Y ESTUCOS, LOS MAESTROS PROBABAN EL MATERIAL Y LOS MATERIALES PROBABAN EL OFICIO”

Dr. Arquitecto Ignacio Gárate Rojas, citando a su amigo el Maestro Estucador Emilio Quilez³

Las propiedades mencionadas hacen que en los procesos de restauración y conservación se contemple la integración de nuevos aplanados para las superficies intervenidas, así como la reposición de los mismos en las zonas donde esto se requiera, utilizando técnicas similares a las originales.

3 Cita tomada del libro *Artes de la Cal*

Dr. Gárate Rojas. Editorial Munilla-Lería, España. Segunda edición ampliada 2002.

Rejunteo Aplanados



APLICACIÓN EN **ACABADOS FINOS**

ELEMENTOS ORNAMENTALES

Una de las mayores aportaciones realizadas durante el siglo XVII fue el uso de las argamasas o morteros a base de Cal de Alta Pureza, como parte de la carga ornamental aplicada a los edificios de uso civil y religioso. Este elemento permitió repetir decoraciones similares a las constituidas por yeserías en interiores, pero ubicándolas en el exterior de los edificios.

El trabajo estructural de estos edificios incorpora a los elementos decorativos que lo componen, mismos que deben comportarse con la suficiente elasticidad para poder absorber las deformaciones propias del funcionamiento, pero deben contar con la solidez necesaria para mantenerse tal como fueron colocados. Estas propiedades funcionan de manera óptima mediante el uso de la Cal de Alta Pureza en forma de Pasta Añeja.

Los diferentes tipos de deterioro, en muros, cubiertas, torres y otros elementos arquitectónicos, han ocasionado la pérdida de elementos tales como

cornisas, molduras, roleos y demás decoraciones. El proceso de conservación de lo anterior se realiza mediante la inyección de argamasa (mortero) de Cal de Alta Pureza, así como la integración de los elementos dañados utilizando los mismos materiales.

PINTURA A LA CAL

La pintura es un elemento de protección que al mismo tiempo proporciona atributos estéticos; sin pintura, los aplanados son susceptibles de dañarse con mayor facilidad. Como parte de los acabados que se observan en los edificios históricos, las pinturas constituyen la parte visible que cuenta con una importancia especial, considerando que la arquitectura desarrollada en la etapa virreinal y posterior cuenta con una carga de elementos simbólicos que va ligada a los colores aplicados.

Desde el punto de vista técnico, la aplicación de pintura a base de Cal de Alta Pureza permite que los aplanados respiren, facilitando la entrada y salida de aire, dejando salir de este modo la humedad. Este elemento de color constituye el complemento de los aplanados de argamasa (mortero) de Cal, pues a diferencia de las actua-

les capas de color a base de vinílicas, esmaltes acrílicos o poliuretánicos, la pintura a la Cal se integra completamente, formando parte de las superficies que cubre, y, por lo tanto, de su comportamiento físico.

Esta pintura se elabora a partir de Cal de Alta Pureza en forma de Pasta Añeja (mínimo de 24 meses de edad), agregando aditivos naturales (como el mucílago de nopal), y complementado con elementos minerales como pigmentos.

Los pigmentos son materiales de origen inorgánico u orgánico que se utilizan para dar color a la pintura a la Cal. Se caracterizan por ser partículas que no se diluyen sino que forman un sistema de emulsión o una mezcla. La mayoría de los pigmentos naturales que se emplean provienen de fuentes minerales. Los pigmentos requieren un proceso de molienda para facilitar la mezcla, homogeneización y su aplicación sobre la superficie a pintar: dependiendo de cada material, se define el grado de molido y con ello el poder de cobertura y matiz que se puede obtener.

En cuanto a su relación con el contexto, las pinturas a la Cal dan belleza e higiene a los edificios, dado que pueden utilizarse en fachadas, bardas y todo tipo de superficies exteriores, así como en interiores, y con la ventaja esencial de que la cal es un material amigable con el medio ambiente.

Aplicación de pintura a cal



Nota: en algunas regiones es costumbre cubrir superficies con lo que se conoce como "encalado" o "lechada de cal". Hay que evitar confundir éstos con un producto elaborado, como lo es la pintura a la Cal, la cual logra poder cubriente y durabilidad multianual.

Nota: A partir del siglo XX, el dominio absoluto por parte de las pinturas industrializadas, han sustituido los colores y efectos de pigmentos, luces, sombras, variantes cromáticas y visos ofrecidos por una pintura a la Cal correctamente preparada.

AGUACAL

Otro de los usos peculiares es el de consolidar la estructura interna de los elementos pétreos de origen calizo que fueron utilizados en gran medida para la conformación de muros y cubiertas que resienten la presencia de contaminantes y humedad. Para realizar esto se utiliza el agua remanente del apagado de la Cal (Aguacal), misma que cuenta con una considerable concentración de calcio y que mediante la impregnación de la piedra, devuelve -en cierta proporción- este elemento para su integración en la composición del material. Lo consolida de manera natural, sin la necesidad de integrar elementos invasivos.

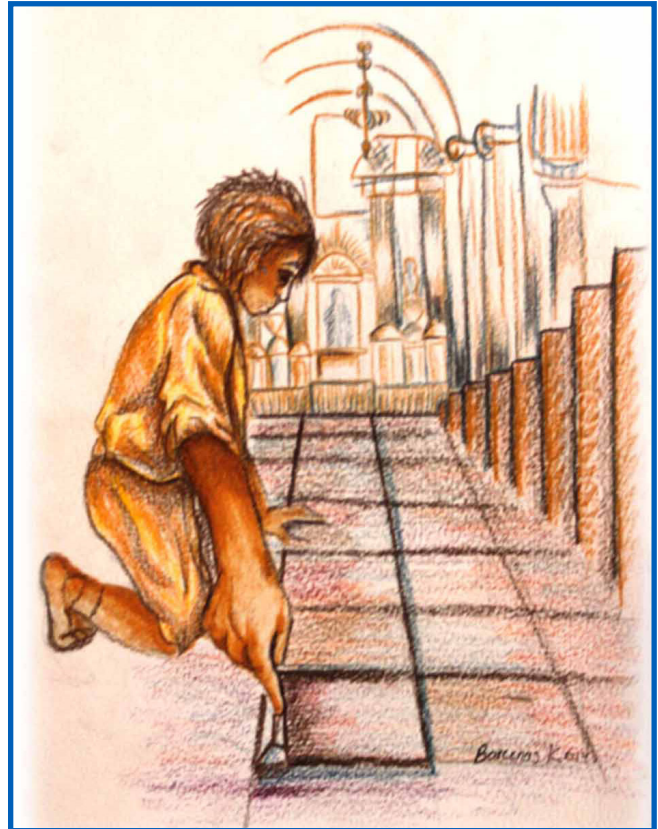
Asimismo, el Aguacal, ha sido ampliamente utilizada en la conservación de elementos de tierra; consolida tapias o adobes disgregados mediante un sencillo proceso aspersión temporal. Lo mismo que en la conservación de pintura mural, se han obtenido resultados positivos y una efectividad comprobada.

El Aguacal también sirve como biocida, con la ventaja de ser un elemento natural para la eliminación de flora superior e inferior, así como de microorganismos que afectan a elementos arquitectónicos y ornamentales. Para el efecto se aprovechan sus propiedades causticas y alcalinas (modificando el pH en el medio), mediante un vaciado en forma de solución en las zonas donde se han cortado o eliminado los elementos vegetales.

OTROS USOS

Aunada a los usos mencionados, la Cal de Alta Pureza en forma de Pasta Añeja

Integración de loseta de barro y consolidación de juntas



es aplicada en otras acciones relacionadas directamente con la conservación del patrimonio. Como parte de esto puede mencionarse su uso en la restauración de bienes muebles tales como estucos, ribetes y pintura mural, firmes de sacrificio, pisos, cubiertas, reintegración volumétrica, anastilosis, etcétera.

Incluso los elementos que quedan después del proceso básico de apagado de Cal, conocidos como “grumos”, son utilizados en combinación con materiales, como el tepetate, para el mejoramiento de pisos y terracerías, confinamientos de elementos de cimentación y en la construcción de plantillas para uniformizar superficies para colocación de tuberías, desplante o consolidación de terraplenes.

IMPERMEABILIZANTE

BASE CAL DE ALTA PUREZA

El impermeabilizante fabricado a base de Cal de Alta Pureza, es una pasta con 24 meses de añejamiento a la cual se le agrega agua limpia, alumbre, jabón y aditivos naturales. Una ventaja particular es que se integra totalmente a la superficie del edificio lo cual confiere mayor durabilidad en comparación con la típica solución de alumbre y jabón sin Cal. Al integrarse a las cubiertas se vuelve un impermeable que impide la intrusión de agua. Asimismo, si llegan a haber pequeñas fisuras, el impermeabilizante actúa como sellador adhiriéndose a las fisuras.

A diferencia de otros productos industrializados (acrílicos, asfálticos, etc.), el impermeabilizante a base de Cal se ve favorecido por el sol y los factores climáticos, ya que a medida que pasa el tiempo, la Cal se hace más resistente, y la captura de CO₂ del ambiente hace que se solidifique nuevamente. Cabe mencionar que nuevas capas del impermeabilizante a la Cal se pueden aplicar encima sin necesidad de retirar el anterior. En contraparte, las películas sintéticas necesitan ser retiradas cuando se impermeabiliza de nuevo.

Impermeabilización de cúpulas



Además de ser durable, el impermeabilizante a base de Cal funciona como bio-insecticida natural, ya que sella huecos generados por insectos e impide su proliferación, ahuyentando los insectos.