

NOTAS, RESEÑAS Y EVENTOS

**MATERIALES DE BAJO COSTO PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE VIVIENDAS ECONÓMICAS**

María Teresa Ochoa*
José Toirac Corral*

RESUMEN

La vivienda, necesidad sentida de la población, representa el espacio físico donde se establece la familia, núcleo básico de toda organización social.

En la actualidad más de la cuarta parte de la población mundial (más de mil millones de personas) carecen literalmente de un hogar o viven en condiciones miserables, problema al cual no escapan las naciones desarrolladas.

En nuestro país, reducir el déficit de viviendas y mejorar las condiciones del habitat constituye un reto a enfrentar no solo por los dirigentes del gobierno encargados de esta política, sino también por todos los profesionales y empresarios de la construcción, los cuales deben preocuparse en buscar soluciones que permitan disminuir los costos de la vivienda tradicional haciéndola accesible no solo a personas de altos y medianos ingresos sino también a las clases más pobres y necesitadas.

Aplicando nuestro conocimiento y experiencia sobre el tema, el presente trabajo recoge resultados concretos sobre la producción y uso de nuevos materiales de construcción alternativos a partir de materias

*Profesores Área de ingeniería INTEC.

primas nacionales. Estos, al sustituir los tradicionales producen un significativo ahorro en los costos, pudiendo, luego de su desarrollo a nivel industrial ser aplicado masivamente a diversos proyectos habitacionales, urbanos, sub-urbanos y rurales, además de hacerlos más asequibles a un gran número de personas de bajos ingresos que con su esfuerzo y medios propios pudieran alcanzar su anhelado techo.

PALABRAS CLAVES

Vivienda, materiales de bajo costo, aglomerantes, puzolana, pintura cementosa.

INTRODUCCIÓN

En nuestro país, con el desarrollo de la ciencia y la técnica, la vivienda ha llegado a ser cada vez mas amplia y confortable, desarrollando, desde la década de los ochenta hasta la actualidad bellos y variados proyectos urbanísticos que sin duda han modernizado nuestras principales ciudades, sin embargo su elevado costo ha impedido a sectores mayoritarios acceder a estas, creando una polaridad significativa entre el habitat de unos y otros.

El concepto de vivienda económica tiene un carácter muy relativo, pues está en relación directa con el poder adquisitivo de los futuros moradores, así como de las condiciones de entrega y los plazos a cumplir en sentido general. Sin embargo, existen comunes denominadores que sin dudas constituyen los factores determinantes en este propósito, y que son los siguientes:

- Precio de la tierra.
- Diseño.
- Técnicas de ejecución.
- Precio de la mano de obra.
- Materiales empleados.

El tema que nos ocupa responde a este último factor, es decir, a los *materiales empleados*. Con el desarrollo tecnológico, se fueron incorporando a la construcción de viviendas materiales de elaboración más complejas que fueron encareciendo las mismas lo que unido a los otros factores, ha convertido de sueño en pesadilla la posibilidad de adquirir su casa propia a un sector importante de la población.

El presente trabajo expone abiertamente la producción y uso de nuevos materiales de construcción alternativos a partir de materias primas autóctonas, siendo estos una opción mucho más austera sin menoscabo de los parámetros a cumplir tanto de diseño como de ejecución, pues la calidad y vida útil de la vivienda determina en gran medida para la familia su calidad de vida en general, de ahí la importancia social que representa lograr el acceso de la población a una vivienda digna pero a la vez económica.

En el presente trabajo expondremos la producción y uso de dos nuevos materiales: *El aglomerante puzolana-cal y la pintura cementosa*, estos, una vez implementados a nivel industrial podrían sustituir de inmediato a sus similares tradicionales produciendo un efecto económico importante, utilizándolo de esta manera en la construcción de nuevos proyectos habitacionales.

DESARROLLO

Aglomerante puzolana – cal. (Cemento romano)

Sobre este tema nos proponemos exponer las experiencias relacionadas sobre estos aglomerantes, tanto en lo que respecta con su tecnología de producción como su empleo en la construcción, investigando además la factibilidad de uso de las materias primas requeridas existentes en el país.

Estos aglomerantes, cuyo origen se remonta a más de 2700 años y que con el surgimiento del cemento portland (patentado en 1824 por Apsdin) fueron desplazados gradualmente hacia lo que podríamos denominar la periferia marginada del desarrollo tecnológico, lo cual ha constituido un grave error de naturaleza técnico-económica, comenzando a superarse en los últimos tiempos, objetos de una gran atención hoy día no solo en los países en vías de desarrollo sino también en aquellos industrializados convirtiéndose cada vez más en un recurso indispensable para la construcción ante la sostenida y creciente escasez de recursos energéticos en la mayoría de los países del planeta y del fuerte impacto que en los costos tiene la energía en la producción de cemento portland, más aún el acuciante y al parecer insoluble problema de la vivienda.

En las condiciones actuales en nuestro país con restricciones energéticas en particular y económicas en general, el empleo de estos aglomerantes de bajo consumo energético, tecnología de producción sencilla y muy bajo costo de producción, se hace una necesidad ineludible, máxime cuando no se trata solo de sobrevivir sino aún en estas difíciles circunstancias, proseguir nuestro desarrollo.

Ante la gran demanda energética necesaria para la producción del cemento portland y la imperiosa necesidad de desarrollar programas de construcción de viviendas sub-urbanas y rurales, enfrentamos la tarea de la búsqueda de un aglomerante de bajo costo y de fácil producción, destinado fundamentalmente a la producción de trabajos de albañilería y otros usos de bajo requerimiento en cuanto a resistencia mecánicas.

Como referencia para este trabajo tomamos los cementos naturales producidos en España los cuales con anterioridad se agrupaban en la denominación genérica de cemento Zumaya (nombre de la región de Guipúzcoa con una tradicional y muy desarrollada industria de los cementos naturales), aglo-

merantes que han jugado y aún juegan importantísimo papel en la construcción de este país. Baste señalar que en los años de crisis energética durante la II guerra mundial los cementos naturales, llegaron alcanzar el 40% de la producción total de cementos en España.

Todavía a fines de la década del sesenta la industria cementera Española (ya muy desarrollada) con una capacidad instalada para la producción de cementos portland, puzolánicos, de alto horno y siderúrgico, así como aluminosos, de 15, 974 millones de toneladas anuales, producía 646.4 miles de toneladas de cemento natural y 88.2 miles de toneladas de cal hidráulica. Otro tanto ocurre en Francia, en la cual junto a la producción de cementos normalizados, coexiste una vasta industria de otros cementos y aglomerantes.

A modo de ejemplo podemos decir que en 1984 (todavía en proceso de recuperación de la guerra) en Francia se produjeron 5.5 millones de toneladas de cementos, empleándose para ello 1.5 millones de escorias, además de 2 millones de toneladas de cales hidráulicas y aglomerantes análogos.

Como podemos apreciar la carencia de recursos energéticos ha sido un tremendo estimulante de la producción de estos aglomerantes, que vuelven a ganar la importancia no solo en nuestro país por los mismos motivos: el elevado costo de la energía.

Se parte del criterio de lograr un aglomerante equivalente a los cementos naturales con el menor consumo energético posible y de acuerdo con la experiencia acumulada a lo largo de los años en el estudio de las puzolanas y sus reacciones, así como los cementos con adiciones de aquellos, y teniendo en cuenta la experiencia histórica de milenios que se hace patente de modo irrefutable en los numerosos panteones, estadios, acueductos, cisternas, puentes y puertos, que han resistido con total éxito el intemperismo de más de 20 siglos, inclusive la agresividad extrema del mar.

A lo anterior se agrega el hecho de que la producción de la cal, inclusive la hidráulica, implica un elevado gasto energético, pues para la tecnología tradicional de producción de cal en hornos verticales aún en los diseños y construcciones recientes, el consumo energético se encuentra en el orden de los 1 250 kcal/ kg. de cal producida, magnitud que puede incrementarse en el caso de las cales hidráulicas.

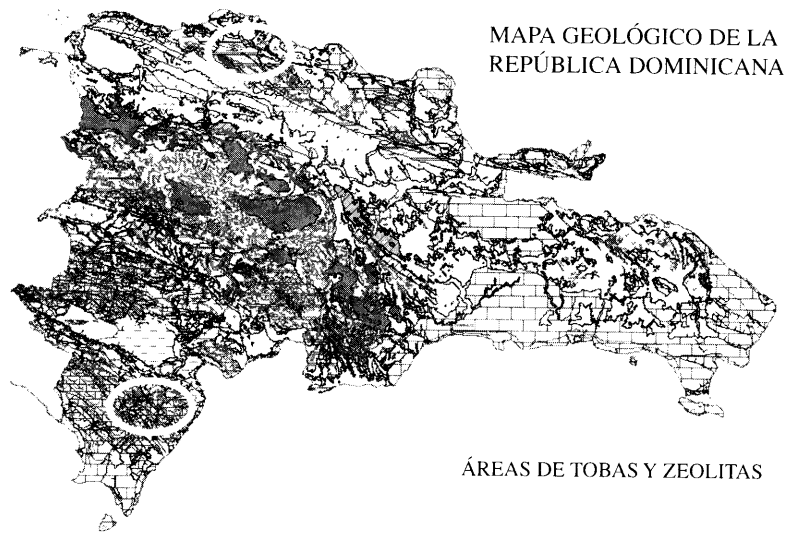
Por todo esto se desarrollan los trabajos, inicialmente a nivel de laboratorio a partir de mezclas de puzolana pulverizada hasta finuras del orden de 90% en el tamiz de 0.09 mm. con hidrato de cal (comercial) y posteriormente cal viva en las cuales estas últimas serían el componente minoritario.

Características

Este aglomerante como su nombre lo indica, esta constituido por una mezcla íntima y homogénea de puzolana más cal (viva o hidratada) pulverizados hasta finura similar a la del cemento portland y, el mejor modo de lograrlo es la molienda conjunta y adecuadamente dosificada (70- 80% de puzolana y 30-20% de cal) aunque se puede lograr por molienda separada y ulterior mezclado, pero existen riesgos de no alcanzar una buena homogenización.

Las ***puzolanas*** no son más que minerales, generalmente silicatos o aluminosilicatos que, careciendo de propiedades cementicias y actividades hidráulicas por si solas, son capaces de reaccionar a temperatura ambiente con la cal o hidróxido de calcio u otras sales cálcicas, en presencia de agua, para dar lugar a la formación por vía topo química de productos estables y prácticamente insolubles con propiedades y características similares a los formados durante el fraguado o hidratación del cemento portland.

En nuestro país existen yacimientos de grandes volúmenes de rocas con actividad puzolánica notable: zeolitas y tobas, a la cuales se les agrega otras puzolanas artificiales tales como las arcillas calcinadas (en muchos casos ladrillos, tejas, y otros productos de arcillas cocidas pulverizadas), el “flay ash” o ceniza volante, la ceniza de cáscara de arroz (por la sílice amorfa) e incluso las cenizas del bagazo de caña quemado en los centrales azucareros, aunque con una actividad puzolánica menor que las restantes.



Cabe destacar que tanto la toba de Puerto Plata como la zeolita de Barahona presentan una excelente actividad puzolánica, resultados estos obtenidos siguiendo la norma de muestreo y ensayos descrita en el método de Fratini a una población estadísticamente representativa. Este método está basado en la capacidad de los minerales activos de absorber el hidrato de calcio que se forma como resultado de los procesos de en-

durecimiento del cemento que se prepara a partir del clinker, las propias puzolanas y el yeso.

La actividad se determina comparando el contenido de hidrato de calcio en la fase líquida en contacto con el cemento, con el contenido correspondiente al estado de saturación. Mientras menor sea la concentración de hidrato de calcio en la fase líquida en comparación con la concentración del estado saturado, más activo será el mineral.

Procede aclarar que el efecto puzolánico determinado en este ensayo, no solo es válido para su factibilidad como ***aglomerante puzolana-cal*** (APC), sino también como aditivo en la fabricación de ***cemento portland puzolánico*** (ver conclusiones y recomendaciones).

En cuanto a la cal, para la producción del APC, no es requisito obtenerla a nivel industrial con la más alta pureza, pudiendo emplearse con todo el éxito inclusive la obtenida en hornos verticales criollos, los cuales si bien no poseen una alta eficiencia térmica, en cambio son de muy fácil y barata construcción, permitiendo el empleo de residuos y otros combustibles que reducen sensiblemente los costos de producción.

Resulta evidente que las características del aglomerante han de estar en función de la puzolana y la cal disponible, así como la tecnología de producción, razón por la cual, los indicadores generales que a continuación se ofrecen sirven de orientación a quienes se propongan producir sus propios aglomerantes de cal-puzolana.

La tarea consiste en determinar las propiedades de uso de cada APC producido a partir de puzolana y cal adecuadamente caracterizadas, fundamentalmente en cuanto a la resistencia mecánica que logren en morteros de APC, empleando para ello la arena disponible en la región, velando que la misma cumpla en la mayor medida con los requerimientos establecidos.

En general el APC posee las siguientes propiedades y características:

PARÁMETROS	VALOR
1.- Contenido de puzolana (%)	70 - 80
2.- Contenido de cal (%)	30 - 20
3.- Peso específico g/cm ³	2.2 - 2.4
4.- Finura (% retenido tamiz 0.09mm)	10
5.- Superficie específica Blaine (cm ² /gr.)	5000 - 6000
6.- Fraguado (Vicat)	
Inicial (horas)	5 - 10
Final (horas)	10 - 30
7.- Consistencia normal %	38 - 42
8.- Resistencia mecánica. (kg./cm ²) (*)	
A los 28 días Flexo tracción	15 - 25
Compresión	40 - 80
9.- A los 60 días Flexo tracción	25 - 30
Compresión	80 - 130

(*) Ensayadas en probetas normadas con proporción aglomerante / arena igual a 1/3 y relación agua / aglomerante entre 0.6 y 0.8, curadas bajo agua y ensayadas según requerimientos establecidos en las normas.

Cuando al APC se le adiciona cemento portland se logran reducir los tiempos de fraguado según el ensayo Vicat hasta los valores normales para este cemento, a la vez que se incrementan las resistencias a todas las edades y se reduce la necesidad de agua de amasado, ampliándose el campo de aplicación del APC.

Hemos de tener presente en todo momento que el empleo

del APC requiere de máxima atención al curado de los elementos producidos, pues la desecación, tanto del mortero como del hormigón (fundamentalmente en los primeros 7 días) provocan la paralización de la reacción de la puzolana con la cal, aunque la adición de cemento portland disminuye este riesgo, pues al ocurrir el fraguado del mismo queda “atrapada” en la estructura formada, cierta cantidad de agua de más difícil evaporación, aunque siempre se ha de requerir un mayor cuidado en el curado. En el caso del empleo del APC en empañetes para la construcción de muros de blocks o ladrillos ha de tenerse la precaución de que estos se encuentren debidamente humedecidos para evitar que por absorción del agua des sequen el mortero.

Empleo del Aglomerante Puzolana – Cal.

Mortero de albañilería.

Los morteros de albañilería a base de APC, presentan una gran plasticidad y adherencia, así como muy buena laborabilidad, de acuerdo a las actividades específicas, las dosis con mejores resultados fueron las siguientes:

Actividades	APC	Cemento P-350	arena	polvillo
Levante de muro de ladrillos	1	---	4	2
Levante de muro de bloques	0,8	0.2	3	2
Empañete grueso en muros	0.9	0.1	4	1
Colocación de cerámicas en pisos	1	---	6	2

Recomendaciones

- 1- En las paredes de ladrillos levantados con el mortero de 100% de APC no se podrán efectuar trabajos de encofrados hasta después de 72 horas, o de lo contrario emplear en las últimas 5 hiladas un mortero con 75% de APC y 15% de cemento portland.
- 2- Las juntas no deberán exceder de 1.5 cm., preferentemente 1 cm.
- 3- Las juntas de pisos y enchapes se realizará solo con cemento portland.
- 4- No se recomienda el APC en empañete fino en exteriores, pero en interiores podrá usarse en base a 60% de APC y 40% de cemento portland.

Evidentemente, podrán ser empleadas otras dosificaciones de acuerdo con las necesidades y los materiales disponibles por el constructor (aglomerantes, agregados, elementos a colocar así como las condiciones ambientales, etc.), sugiriendo la presencia de arena de origen calcáreo (polvo de piedra) a los silicios o ígneos.

Hormigones

Se trata de hormigones de baja resistencia (del orden de 160kg/cm² o menor) en los cuales se recomienda el empleo combinado del APC con cementos portland y así lograr la cohesión necesaria para formar la estructura del hormigón con la resistencia requerida.

Es obvio que la dosificación depende no solamente de la resistencia específica de aquel y de la marca o resistencia media de este, sino de las características de los agregados disponibles, así como de la laborabilidad requerida, razón por la cual, en el caso de la preparación de hormigones, tanto vaciados “in situ”

como de elementos prefabricados sencillos, debe procederse a los ensayos de dosificación previos, recordando que tanto el peso específico como volumétrico del APC y de sus mezclas con el cemento portland son menores que los de este último y los hormigones resultantes tendrán un peso específico del orden del 5 % menor que los elaborados con el P- 350.

Experiencias comprobadas en la producción a escala semi-industrial de APC demostraron la posibilidad real de lograr hormigones de hasta $f'c = 160 \text{ kg./cm}^2$ con mezclas compuestas de 60% de APC y 40% de cemento P- 350 y una dosificación general de 352 kg./m^3 , relación agua/cemento = 0.57 y 8 cm. de asentamiento medidos en el cono de Abrams.

Si comparamos los 352 kg. de APC con los 333 kg. de P-350 que aproximadamente se utilizan para este tipo de hormigón, vemos que se logra un ahorro energético importante, pues en este caso se ha empleado solamente 141 kg./m^3 de P-350 y los restantes 211 kg./m^3 de APC, que tomando en cuenta un consumo energético 4 veces menor equivalente a 53 kg./m^3 de P-350, o sea un total energético equivalente a 194 kg./m^3 .

Para mezclas de 50-60% de APC y 50-40% de P-350 y sobre la base de asentamiento de 5-8 cm., las dosificaciones de dichas mezclas de acuerdo con las marcas de hormigones deseadas estarían en los siguientes órdenes:

$f'c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	APC+ P-350 (kg/m ³)
75	150 - 200
100	230 - 250
160	340 - 380

Como aplicación práctica de lo anterior tenemos la construcción de aceras y zapatas corridas para paredes de viviendas de blocks y techo aligerado, a partir de 50% de APC y 50% de P-350 obteniéndose valores de hasta un $f'c = 175 \text{ kg./cm}^2$, también en elementos de prefabricado de terrazo como son

mesetas de cocina, lavaderos y pasos de escalera, logrando su pulido a los dos días de producido sin dificultad. En este caso se recomienda el empleo de los elementos (su colocación en obra) después de los 28 días para lograr un alto nivel de reacción entre la puzolana y la cal, garantizando así su mayor la durabilidad

Blocks de hormigón

El mayor problema que enfrentan la producción de blocks de hormigón huecos está dado por la fuerte tendencia a la desecación del mismo como consecuencia de la baja relación agua/cemento (es un hormigón de asentamiento cero) y al alto valor de la relación superficie/volumen.

Es por ello que las deficiencias en el curado de los blocks provocan caídas de resistencia notables, lo cual se agrava por su almacenamiento a pleno sol a las 24 horas de producidos en el mejor de los casos.

Como sabemos, existen en nuestro país diversas variedades de bloqueras que van desde totalmente automatizadas con moderna tecnología de punta, hasta bloqueras criollas o de patio. Aún estas últimas, cuentan con un área destinada a colocar sobre plantillas o tableros los blocks de la producción del día. Cada mañana antes de reiniciar la producción esta área es despejada y los blocks son trasladados al patio para su almacén definitivo antes de ser despachados no antes de 7 días, tiempo en el cual debe lograrse la resistencia adecuada para el manejo y el servicio de uso definitivo.

Es recomendable que los blocks se hagan con una mezcla de APC y cemento P-350 al 50% c/u del total del cemento utilizado en condiciones previas normal, aunque en el caso del block de 4" puede aumentarse la proporción de APC. Es importante tener en cuenta que el hormigón preparado debe te-

ner la mayor adición de agua posible que permita la adecuada conformación del bloque por vibración y su ulterior traslado hasta el lugar donde ha de permanecer para su endurecimiento inicial.

El mezclado de la mezcladora debe ser del orden de 2-3 minutos para garantizar la mezcla más homogénea de los materiales, pues debemos tener presente que en este caso, además de cemento portland, grava, arena, agua, tendremos el APC.

La dosificación de la mezcla de APC y cemento P-350 para blocks de 4" es de 1,2- 1,3 kg./block y para los de 6" y 8" de 1.9 - 2,1 kg./block, lo cual produce un efecto económico significativo al compararlo con los indicadores de consumo cuando utilizamos como 100% de aglomerante el cemento P-350.

Estos blocks hechos con APC y cemento P-350, deben mantenerse durante 24 horas bajo techo con riego de agua después de esta y con posterioridad durante no menos de otras 72 horas para garantizar el más eficiente curado de los blocks y con ello lograr las mayores resistencias.

El block es un elemento cuyo valor de uso esta definido básicamente por la resistencia a compresión y el tiempo que media entre la producción del elemento y el momento en que alcanza su valor de uso puede incrementarse a más de 7 días, lo cual obligaría a pensar en incrementar las áreas de almacén para de esta forma no limitar la capacidad de producción.

Ladrillos prensados

Estos elementos de pared son dimensionalmente similares a los producidos en las alfarerías por medio de la técnica de cocción en hornos. En este caso son prensados solamente mediante la utilización de energía hidráulica o eléctrica utilizando para ello las mismas máquinas usadas en la elaboración

del mosaico tradicional, prensando verticalmente el material utilizado a través de un pisón que se desliza dentro del molde hasta lograr su medida definitiva.

Los ladrillos prensados de acuerdo a su composición se producen con la combinación dosificada de materiales inherentes y adherentes entre los que se pueden encontrar:

Inertes: Polvo de piedra (arena triturada no lavada), residuo de cantera o suelo estabilizado.

Adherente: ***Cemento portland o cemento portland + aglomerante puzolana cal.***

Para cualquier dosificación dada, tanto de aglomerante como de agregados, el factor más importante lo constituye la presión aplicada, pues la resistencia alcanzada en el elemento depende en gran medida de ésta, sin descuidar el curado y la adecuada manipulación del producto. Para ladrillos prensados, aplicando presión de 150 kg./cm² durante la conformación, se puede emplear una dosificación de 10% de APC con 90% de polvo de piedra y lograr resistencias del orden de los 100 a 120 kg./cm² requiriéndose el curado durante una semana en ambientes húmedos bajo techo y posteriormente a las áreas de almacenamiento hasta los 14 días para su transportación y empleo. Cuando utilizamos cemento portland, estos tiempos son disminuidos.

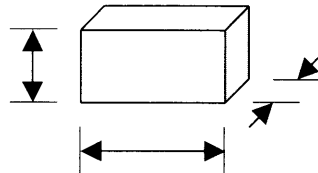
Parámetros de calidad:

Dimensiones (mm):

Largo (l) = 250 + 3

Ancho (a) = 120 + 3

Espesor (e) = 65 + 3



Resistencia a la compresión a 7 días $f'c = 80 \text{ kg./cm}^2$.

Absorción: Menor de un 5%.

Los atributos de calidad que se deben de controlar y restringir son:

Alabeo o torcedura: Desviaciones en el centro de la cara con respecto al plano divisorio.

Desconchado: Pérdida de una porción de la superficie.

Despuntado: Rotura de una de las esquinas del ladrillo.

Otros empleos

Actualmente, se han realizados trabajos de investigación sobre el empleo del APC en la estabilización de suelos con resultados positivos; siendo importante señalar el empleo de hormigones de cenizas volantes – cal de consistencia de tierra húmeda compactados, como base de pavimentos semiflexibles de carreteras, autopistas, pistas de aterrizajes, parqueos, etc., con dosificaciones de 15-20 % de APC, recordando que en este caso las cenizas volantes no son mas que puzolanas artificiales. En Europa (España y Alemania), muchas carreteras están hechas con hormigones a base de *puzolanas naturales y cal compactada*.

Tecnología de producción

La producción del APC en plantas pequeñas y con rendimientos de 1-3 t/h no es solo posible sino totalmente justificado y recomendado a partir de la concepción de un empleo de dicho aglomerante, que evite las implicaciones de la transportación.

El proceso productivo del APC consta de las siguientes etapas:

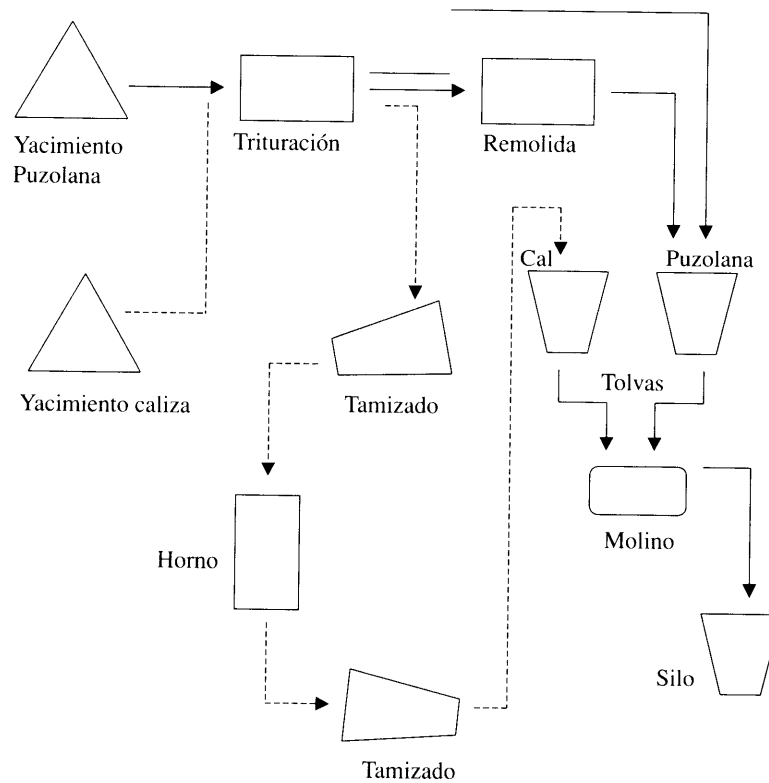
1. Explotación del yacimiento de puzolana, el cual puede realizarse en muchos casos con un limitado empleo de explosivo o prescindiendo completamente de ello.

2. Trituración de la puzolana, la cual puede incluir la necesidad de remolida para lograr una granulometría inferior a 10-6 mm. Puede ser realizada en cualquier instalación de trituración de agregados existente, pues cualquiera de ellas dispone de capacidades 20-30 veces superiores a los niveles de producción de estas pequeñas plantas. Esto puede implicar la decisión de montar la planta próxima a una instalación de trituración ya existente.
3. Secado: en ocasiones, la puzolana proveniente del yacimiento posee una humedad tal, que una vez triturada no es posible proceder de modo inmediato a su molienda fina, razón por la cual ha de requerir un secado previo, que es factible mediante la energía solar, tanto por secado directo, por exposición al sol como mediante secadores especiales diseñados para ello.
4. Molienda: es recomendable en un molino de bolas debido a los requerimientos de finura del APC y preferentemente de modo conjunto la puzolana y la cal. Dadas las capacidades fijadas, la construcción de un molino de bolas de 1 ó 2 cámaras de flujo continuo no ofrece grandes dificultades. Esta etapa de molienda es decisiva en el proceso, debiendo prestarse la máxima atención a la dosificación de la puzolana y la cal, requiriendo en el caso de molienda continua de un sistema de control de alimentación adecuado.
5. Producción de cal, en hornos verticales tradicionales alimentados con roca caliza triturada de dimensiones del orden de 50-80 mm. utilizando algún combustible alternativo como es tradicional en esta producción. Preferentemente debe usarse la cal viva en molienda conjunta con la puzolana, teniendo cuidado que no se

vea expuesta a la lluvia, resultando más ventajoso y menos molesto que la manipulación del hidrato de cal. En todo caso será necesario separar las partículas de calizas mayores de 10mm no calcinadas (huesos), lo cual puede hacerse por tamizado manual o mecánico o en su lugar someter la cal a trituración previa a la molienda.

6. Almacenamiento y entrega. Aunque pueden emplearse diversas variantes, la más lógica es el almacenamiento en un silo o tolva cubierta que proteja al APC de la meteorización. Esto implica la solución de llevar el APC desde la descarga del molino de silo; lo cual puede ser afectado mediante un elevador de cangilones, una banda transportadora o un sistema neumático, todos de pequeñas dimensiones. Los silos o tolvas han de tener capacidad para un mínimo de 3 días de producción y preferentemente dos, para que mientras uno recibe el APC que se esté produciendo, la entrega la realice el otro, cuya producción ya ha sido evaluada a lo largo del proceso, lo cual ha de garantizar la calidad del producto. La entrega podrá hacerse a granel, de modo similar al cemento, o en sacos, empleándose para esto último las ensacadoras de sinfín usadas en el hidrato de cal o en el yeso. Dadas las características de los sólidos pulverizados, los cuales tienden a sufrir apelmazamiento, se recomienda, disponer de un pequeño compresor y una red de aire comprimido.

Esquema del proceso de producción del aglomerante de cal-puzolana.



PINTURA CEMENTOSA

Definición

Esta pintura producida en forma de polvo seco, esta constituido por una base cementosa, que al ser mezclada con agua, permite obtener un revestimiento con propiedades impermeabilizantes que decora todo tipo de superficie de hormigón, mortero, piedra, ladrillo y block, pudiendo usarse tanto en interiores como en exteriores.

Indicaciones de uso

Preparación de la superficie:

Debe estar libre de polvo, grasa, sales y esflorecencias.

Para aplicarla en una superficie ya cubierta con otros tipos de pintura, debe ser rapillada para eliminar todo el material suelto.

Por último, debe humedecerse la superficie hasta su saturación para evitar la absorción del agua contenida en la pintura.

Preparación de la pintura:

Se mezcla un volumen de polvo con igual volumen de agua, por ejemplo, para un galón de polvo, un galón de agua.

Es apta para su uso hasta dos horas después de mezclada, pasado este tiempo, comienza a endurecerse.

El mezclado debe hacerse echándole el polvo al agua poco a poco e ir batiendo constantemente hasta obtener la homogeneidad requerida.

Después del mezclado, la pintura se deja reposar durante 15 minutos al cabo de los cuales se bate nuevamente, se pasa por una malla para mosquito y ya esta apta para su aplicación.

Aplicación:

Al aplicarse en exteriores, es recomendable pintar los frentes que no reciban el sol o en los momentos de menor intensidad del mismo, evitando en lo posible las horas del medio día.

Puede ser aplicada con brocha, con pistola de aire comprimido o con rodillo de espuma.

Antes de iniciar la aplicación, debe verificarse que la superficie se mantiene húmeda.

Para aplicar la segunda mano, se debe esperar 24 horas, humedeciendo de nuevo la superficie.

Advertencias:

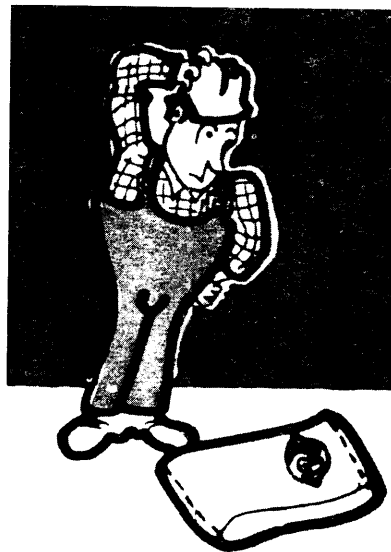
No se aplica sobre madera, metal ni paredes estucadas.

No debe agregársele agua a la pintura una vez preparada.

El empleo de esta pintura, no debe exceder de los seis meses posteriores a su fabricación.

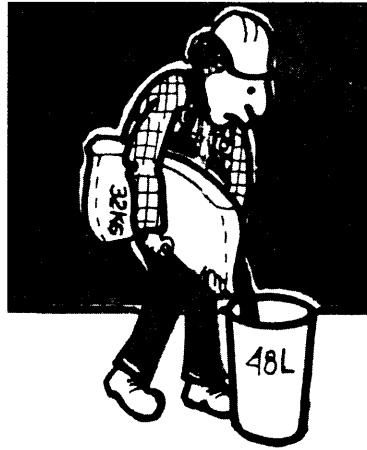
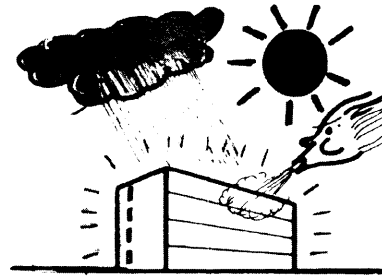
Para el almacenamiento de este producto, deben cumplirse las mismas reglamentaciones y precauciones que se siguen con el cemento.

Preparación y aplicación de la pintura cementosa



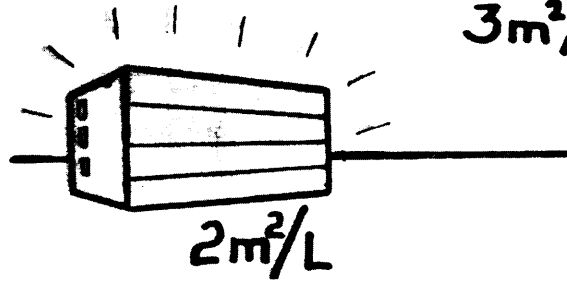
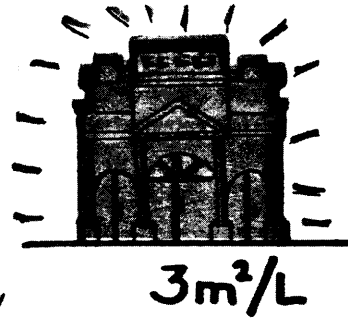
La pintura cementosa es un acabado superficial, compuesto por polvo seco de cemento portland blanco, pigmentos y otros materiales orgánicos e inorgánicos, los que mezclados con agua, en el momento de su aplicación, producen una capa milimétrica de protección en hormigones, morteros y otros materiales similares.

La durabilidad, en exteriores, es de diez años y para lograrlo es necesario un estricto control de calidad de las materias primas del producto terminado y de la aplicación en obra.

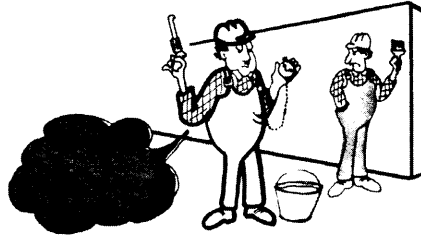
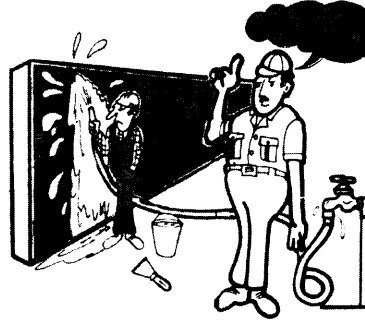


El material es envasado en forma de polvo en fundas multicapas valvulados de papel kratf hasta un peso de 32 kg. lo que equivale, después de la adición del agua en obra a 48 litros de pintura líquida.

En paredes lisas el rendimiento es de $2\text{m}^2/\text{l}$, aumentando este a $3\text{m}^2/\text{l}$ en fachadas irregulares.



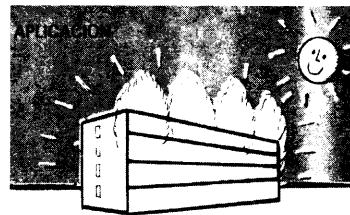
Estas deben limpiarse de polvo, grasas y de cualquier tipo de eflorescencia o de partículas sueltas, y si anteriormente estaban cubiertas con otros tipos de pinturas se elimina, mediante el rapillado, de todo lo que este suelto o removible, hay que humedecerlas intensamente con abundante agua 15 minutos antes de comenzar a aplicar la pintura.



Se mezcla un volumen de polvo seco con un volumen de agua. Este mezclado debe hacerse echándole el polvo al agua lentamente y agitando de forma continua hasta obtener una pasta

homogénea. Después, esta mezcla se deja reposar durante 15 minutos al cabo de los cuales se agita nuevamente y se pasa por una malla fina quedando lista para su aplicación.

Antes de iniciarse la aplicación, siempre debe verificarse que la superficie se mantenga húmeda; se puede pintar con brocha, pistola de aire comprimido o con rodillo de espuma. Al trabajarse los exteriores, es recomendable pintar las fachadas cuando no reciban el sol o en los momentos de menor intensidad, evitando las horas del medio día. Con altas temperaturas hay que evitar la rápida evaporación del agua.



- Con la cantidad preparada se puede pintar hasta 3 horas ya que pasado este tiempo comienza a endurecerse y no puede agregársele agua.

- Es aplicable tanto en exteriores como en interiores y posee una serie de ventajas.

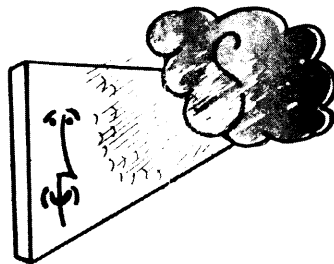
- Garantiza la protección hidrófuga de la superficie.

- Puede emplearse para cualquier tipo de superficie exceptuando las de maderas, las metálicas y los estucos.

- Con solo aplicar dos manos de esta pintura se logra una terminación adecuada.



- La posibilidad de incorporar pigmentos inorgánicos permite que esta se pueda ofrecer en la gama de colores siguientes: blanco, crema, amarillo, rosa, azul claro, verde claro y azul colonial.



- La mezcla de pintura pigmentada requiere $\frac{1}{3}$ más de agua en su preparación que la de color blanco.

- Este acabado requiere de una gran destreza y curiosidad del operario para que la superficie no quede rallada por el paso desordenado de la brocha. Siempre deba aplicarse de arriba hacia abajo.

- Para aplicar la segunda mano debe esperarse 24 horas y humedecer la superficie igual que la primera.



Proceso productivo

Descripción del proceso tecnológico:

Características generales:

La producción de pintura cementosa, es un proceso físico-químico, que se obtiene a partir del mezclado en forma dosificada en seco, de las diferentes materias primas que la componen, hasta lograr una correcta homogenización de todos sus componentes, que le confieren cualidades como pintura.

Etapas en que se divide el proceso:

1ra Etapa: Tamizado y dosificación de las materias primas.

2da Etapa: Mezclado de las materias primas.

3ra Etapa: Envase y almacenamiento del producto terminado.

Descripción de las etapas:

1ra Etapa: Tamizado y dosificación de las materias primas.

Objetivos: Establecer el control de las especificaciones de calidad de las materias primas, su almacenaje, tamizado y dosificación de los diferentes componentes.

Operaciones tecnológicas de la etapa.

- a) Limpieza de los equipos tecnológicos.
- b) Pesada de las materias primas.
- c) Tamizado de las materias primas.

Descripción de las operaciones tecnológicas.

- a) Limpieza de los equipos tecnológicos.

Consiste en eliminar los residuos de la mezcla que permanezcan en el mezclador y tolva una vez descargada ésta. La frecuencia de esta operación es cuando se produzcan cambios de colores.

b) Pesada de las materias primas.

Esta operación, se realiza para medir con exactitud las cantidades de materias primas para posterior elaboración de la mezcla, con lo que se obtiene la pintura.

Las materias primas utilizadas son todas de producción nacional o adquirida en el mercado local, cumpliendo por igual las especificaciones de calidad relacionadas a continuación y exigidas para la elaboración del producto.

Dosificaciones utilizadas: las formulas en %, así como las cantidades para una bachada de 1000 kg. y de 1200 kg, aparecen en el siguiente cuadro:

DOSIS			
<i>Materias primas</i>	<i>%</i>	<i>1000 Kg.</i>	<i>1200 Kg.</i>
Cemento blanco	44.65	446.5	535.3
Hidrato de cal	20	200	240
Feldespató sódico	29.75	297.5	357
Oxido de zinc	2.25	22.5	27
Cloruro de sodio	2.25	22.5	27
Estearato de calcio	0.35	3.5	4.2
Polvo de mármol	0.75	7.5	9

Especificaciones de calidad de las materias primas:

- Cemento: Se tamizará una zaranda con una malla de 0.5 mm. Será blanco con una resistencia de 400 kg. /cm² a 28 días.
- Hidrato de cal: Ca (OH)₂ cal apagada o hidróxido de calcio. La calidad técnica con que viene embasada es correcta y en muy raras ocasiones habrá que tamizarla. El contenido de pureza mínimo será de 90 % y con un contenido de óxido de calcio y óxido de magnesio total libre no mayor que el 8 %.

- Feldespato de sodio, no presentará impurezas, estará libre de humedad y pasará por el tamiz de 1,19 mm. y retendrá como mínimo un 95% en el tamiz de 0,149 mm. y un contenido máximo de óxido de hierro de 1%.
- Cloruro de sodio: utilizar solamente sal fina común, no se puede utilizar ningún tipo de sal de grano grueso, pues ésta contiene un porcentaje de humedad no aceptado en la producción de pinturas a base de cemento.
- Polvo de mármol: tiene que estar totalmente seco, lo cual puede lograrse por secado en horno o secado natural. Al igual que las materias primas anteriores, se tamizará por una malla de 0.5 mm.
- Estearato: Este producto no necesita ninguna preparación previa antes de su uso. Existen tres tipos que pueden utilizarse: estearato de calcio, de aluminio o de zinc, cuyas propiedades hidrófugas (repelencia al agua) disminuyen en ese mismo orden. Se recomienda usar el primero para alcanzar una mayor impermeabilidad de la pintura cementosa. Por sus características, un dosificado en exceso, anula totalmente la pintura al no poder ser mezclada con agua.
- Óxido de zinc: puede utilizarse tal y como viene envasado. Debe ser pasante por el tamiz 1.19 mm.
- Pigmentos: solo pueden utilizarse óxidos metálicos pues los pigmentos orgánicos no son compatibles con los otros productos de la pintura. Se utilizará la cantidad establecida para la gama de colores que se desee obtener expresados en % con relación al peso del cemento.

c) Tamizado de las materias primas.

Es el proceso mediante el cual se garantiza la granulometría de los diferentes productos, en relación al tamaño máximo.

2da Etapa: Mezclado de las materias primas:

Objetivo: El objetivo de esta etapa es mezclar los diferentes componentes de la pintura en un mezclador de doble batida, hasta obtener el grado de homogenización requerido.

Operaciones tecnológicas de la etapa:

- a) Vertido de los diferentes materiales según su orden.
- b) Mezclado de los materiales.
- c) Descarga de la mezcla hacia la tolva receptora.

Descripción de las operaciones tecnológicas:

- a) Vertido de los diferentes materiales según su orden.

Después de pesadas las materias primas, según el cuadro de dosificaciones y tamizadas, se procede a verter el producto en el siguiente orden:

En la tolva de llenado:

- Hidrato de cal.
- Cemento blanco.
- Feldespato sódico.

Se transporta el 50% de estos componentes, mediante un elevador de canjilones hasta el mezclador de doble batida, mezclándolo durante 3 minutos. Seguidamente se añade el resto de los productos (aditivos y pigmentos), directamente a través de la compuerta o tapa del mezclador. Estos son:

- Óxido de zinc.
- Estearato de calcio.
- Cloruro de sodio.
- Polvo de mármol.
- Pigmentos.

Posteriormente se completa con el 50% restante del cemento, feldespato e hidrato de cal.

b) Mezclado de los materiales.

Una vez unidos todos los componentes de la pintura en el mezclador de doble batida, se comienza la operación de mezclado de estos productos durante 1 hora, tiempo en que se debe alcanzar el grado de homogenización requerido, tanto en pintura blanca o de color.

c) Descarga de la mezcla hacia la tolva receptora.

Concluido el tiempo de mezclado en el molino de doble batida, se comienza la descarga del producto hacia la tolva receptora, pasando el mismo por el molino de disco a fin de lograr que se mantenga el grado de finura establecido para la pintura.

3ra Etapa: Envase y almacenamiento del producto terminado.

Objetivo: El objetivo de esta etapa es:

Envasar la pintura en fundas de papel multicapas valvulares.

Almacenar el producto terminado envasado.

Realizar el control de calidad del producto terminado de acuerdo a las Especificaciones de Calidad y Método de Ensayos, relacionados en este trabajo.

Operaciones tecnológicas de la etapa.

a) Envase del producto terminado.

b) Almacenamiento del producto terminado

Descripción de las operaciones tecnológicas.

a) Envasado del producto terminado:

Al concluirse el tiempo indicado para el batido y descargado en la tolva receptora, se comienza el llenado de las fundas.

Las fundas serán de papel multicapas valvulados los que serán llenados hasta alcanzar un peso de $(32 + 0.5)$ kg, lográndose a través de la colocación de la funda en el extremo de sinfín o gusano llenador.

Cada funda llevará una etiqueta con los siguientes datos:

- Marca comercial.
- Nombre genérico del producto.
- Color.
- Fecha de fabricación.
- Indicaciones de uso.

b) Almacenamiento del producto terminado.

Se almacenaran las fundas en locales cerrados secos, situándolos sobre paletas de madera con una separación mínima de 10 cm. de la pared. La altura no será mayor de 3 paletas de 25 fundas cada una.

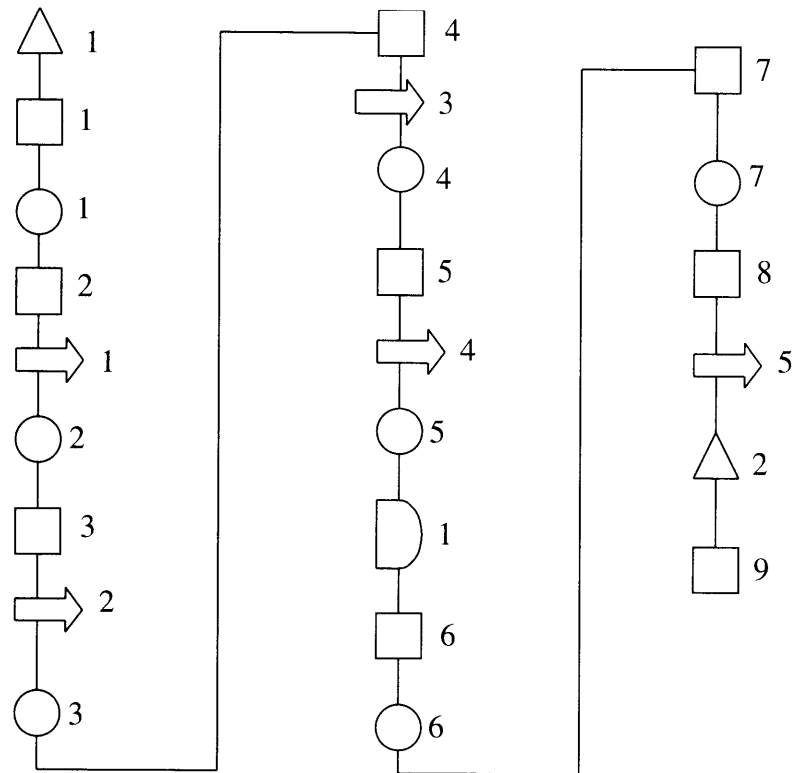
Control del proceso tecnológico

Puntos de inspección:

- Inspección 1: Control de calidad de las materias primas.
- Inspección 2: Supervisión de la limpieza de equipos tecnológicos.
- Inspección 3: Supervisión de las pesadas.
- Inspección 4: Supervisión del tamizado de las materias primas.
- Inspección 5: Orden del vertido de los materiales.
- Inspección 6: Supervisión del tiempo de mezclado.

- Inspección 7: Control de calidad del producto terminado por el laboratorio.
- Inspección 8: Control de las pesadas del producto terminado en fundas.
- Inspección 9: Supervisión al almacenamiento del producto terminado.

Diagrama General de ruta



Leyenda. Diagrama General de Ruta

Almacenamiento 1: Almacenamiento de las materias primas.

Inspección 1: Control de calidad de las materias primas.

Operación 1: Limpieza de los equipos tecnológicos.

Inspección 2: Control de la limpieza de los equipos tecnológicos.

Transporte 1: Transporte de la materia prima del almacenamiento a la pesa.

Operación 2: Pesada y dosificada.

Inspección 3: Control de la pesada.

Transporte 2: Traslado del producto pesado al tamizado.

Operación 3: Tamizado.

Inspección 4: Control del tamizado.

Transporte 3: Traslado de la materia prima a la tolva.

Operación 4: Vertido de las materias primas en la según su orden.

Inspección 5: Orden de vertido de las materias primas para ser mezcladas.

Transporte 4: Transportación de los materiales de la tolva hacia la mezcladora.

Operación 5: Mezclado de los materiales.

Tiempo 1: Tiempo de mezclado.

Inspección 6: Control del tiempo de mezclado.

Operación 6: Descarga de la mezcla hacia la tolva receptora.

Inspección 7: Control de la calidad al producto terminado por medio de ensayos.

Operación 8: Envasar la pintura en fundas de papel.

Inspección 8: Control de las pesadas de las fundas (cada 10 fundas).

Transporte 5: Traslado de las fundas en paletas hacia el área de almacenamiento.

Almacenamiento 2: Almacenamiento de las fundas en paletas.

Inspección 9: Control al almacenamiento del producto terminado en fundas y evaluación general de la calidad.

ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DE LA PINTURA CEMENTOSA

Los índices de calidad expresados en el siguiente cuadro, representan las variables a ser ensayadas a nivel de laboratorio, las mismas se realizarán según la norma de muestreo y ensayos existentes para cada índice, que incluye además la normativa para la preparación del mortero base, el vertido y terminación de este en un molde de (20 x 30 x 3) cm. y la preparación y aplicación de la pintura.

ÍNDICE	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO
Residuo sobre el tamiz de 0.074 mm (No 200)	%	-	10
Sedimentación	%	-	10
Tiempo de secado	H	5	10
Repintado	H	24	-
Absorción de agua	%	-	1

El *caleo* es un atributo de calidad que consiste en la afectación producida en la superficie pintada caracterizada por el desprendimiento de la pintura en forma de polvo. Esta prueba se realiza de manera práctica deslizando el dedo índice sobre la superficie después de las 72 horas de aplicada, no debiendo presentar ningún tipo de desprendimiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La factibilidad tanto técnica como económica de utilizar materias primas nacionales para la producción y uso de estos dos nuevos materiales de construcción presentados (el aglomerante- puzolana cal y la pintura cementosa) abre sin dudas la posibilidad de usar estos últimos como verdaderos materiales de bajo costo para la construcción de viviendas económicas en nuestro país.

En el caso del aglomerante, el efecto económico se obtiene al poder contar con un material cementante de un costo energético sumamente bajo, que si bien es cierto posee limitaciones, las bondades del mismo, permiten, como vimos en el desarrollo del trabajo, utilizarlo en numerosos renglones que componen la construcción de una vivienda.

Como valor agregado, el contar con grandes yacimientos de minerales de alta actividad puzolánica, (la toba de Puerto Plata y la Zeolita de Barahona) nos permite recomendar, al margen de este trabajo, evaluar la producción industrial paralela de cemento portland – puzolánico a las dos fábricas de ciclo completo (obtención de clinker) existente en el país. Cabe destacar que este cemento es producido por varios países del Caribe, su única limitante son las resistencias altas a edades tempranas, no existiendo ninguna diferencia de calidad con el portland normal, en vaciados de hormigones “in situ”, trabajos

de albañilería, etc., lo cual representa más del 80 % del uso del cemento. Esto permitiría sin dudas producir un cemento industrial más económico por concepto de consumo energético (al usar materias primas más fundentes) favoreciendo de esta forma a todo el sector de la construcción.

En el caso de la pintura cementosa, el uso sostenido en países como España y Cuba desde la década de los 80 en proyectos habitacionales rurales o de la periferia urbana, hablan por sí solo de su conveniencia, pues salvando los inconvenientes de su preparación y aplicación antes descritos, esta pintura, sin menoscabo de la calidad o durabilidad, tiene un excelente indicador costo – rendimiento, constituyéndola en una opción verdaderamente competitiva al ser comparada con las pinturas tradicionales.

El objetivo trazado, cumplido con el desarrollo de este trabajo, se coronaría con el éxito si las instituciones y empresas en coordinación con las autoridades competentes del sector, llevaran a vías de hecho este proyecto, es decir, la producción industrial y el uso masivo de estos materiales en la construcción de viviendas económicas. De ser así estaríamos aportando una pequeña, pero importante cuota en la solución habitacional destinada a la población de menos recursos de nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- Calleja, J.: “Código de una buena práctica para la utilización de los cementos del Pliego RC-75”. Instituto Eduardo Torroja, Madrid. 1997.
- 2- Rabilero y J. Muñoz.: “Los aglomerantes en la construcción y sus implicaciones energéticas” IV Congreso Panamericano de Energía XX Convención UPADI 88. La Habana.
- 3- Lafuma, H.: “Problemas teóricos de la doctrina de los cementos”. Instituto Tecnológico de la Construcción y Cemento. No. 98. Madrid.

- 4- Compañía Española de Puzolanas, S.A.: "Conglomerantes puzolánicos: Propiedades y Aplicaciones". Madrid. 1987.
- 5- NC 54-358: 1986 Norma Cubana. Materiales y Productos de la Construcción. Evaluación de las Puzolanas para la Producción de Aglomerantes. Método de Frantini.
- 6- NC 54-349: 1986 Norma Cubana. Materiales y Productos de la Construcción. Pintura Cementosa. Especificaciones de Calidad.
- 7- Rodríguez M. y Toirac J.: Introducción de la Pintura Cementosa en la Empresa de Materiales de Construcción No 12. Holguín. Cuba. Producción y Uso. Simposio UNAICC. Habana 1987.