COMPORTAMIENTO MECANICO DE YESO REFORZADO CON POLIMEROS SINTETICOS

(MECHANICAL BEHAVIOR OF GYPSUM REINFORCED BY SYNTHETIC POLYMERS)

Alfonso García Santos, Dr. Arquitecto

Profesor Asociado de Materiales de Construcción Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

Fecha de recepción: 12-V11-88

614-8

RESUMEN

Se presenta un estudio de la resistencia mecánica del yeso, basado en su refuerzo mediante la adición de polímeros sintéticos, en forma de fibras y dispersiones acuosas. Se pretende mejorar las características mecánicas del yeso, entre cuyas cualidades se pueden enumerar las siguientes: abundancia en España, bajo coste energético, manejabilidad y propiedades de habitabilidad (acústicas, higrotérmicas, etc.). El aumento de las características mecánicas del yeso permite su utilización como elemento prefabricado laminar, con aplicación, en divisiones interiores cielorrasos, etc.

interiores, cielorrasos, etc.
La tesis plantea el refuerzo del yeso mediante la utilización de polímeros sintéticos, debido a que ambos materiales presentan un análogo sistema de cohesión en su nivel estructural, por medio de fuerzas de Van der Waals. Este sistema de cohesión es el responsable de la adherencia que se establece entre la matriz de yeso y las adiciones de refuerzo, que provoca la generación de cristales de dihidrato en la superficie de las fibras, consiguiendo una unión íntima de los dos materiales durante su fabricación. Se realiza un estudio teórico sobre la estructura interna y propiedades de los polímeros sintéticos, que concluye en la selección de aquéllos que se consideran idóneos para su adición al yeso. Este estudio teórico se complementa: con el análisis de cada uno de los polímeros seleccionados en función del proceso de fabricación para crear fibras o dispersiones, y con un estudio teórico sobre materiales reforzados que sienta los fundamentos que sirven de base para el análisis de resultados. Se realiza un proceso experimental que comprueba el comportamiento conjunto de cada una de las adiciones previamente seleccionadas y conlleva la selección de la fibra y la dispersión idóneas, así como de su porcentaje óptimo. Una vez seleccionada y optimizada la adicción, se comprueba su idoneidad para la fabricación de placas y se realizan ensayos de resistencia a impacto y tracción.

SUMMARY

A study on gypsum mechanical resistance is presented. It is based or its reinforcing by means of synthetic polymer addition, either in fiber or in watery dispersion forms. The increase of gypsum mechanical characteristics is attempted, due to its relevant qualities like the following: abundace in Spain, low energetic cost, hadliness, and household properties (acustical, higrotermical, etc.). The increase of gypsum mechanical characteristics allow its use as a laminar premanufactured element for its applications in interior divisions and handing-ceiling.

ceiling. The thesis sets up the gypsum reinforcing by means of synthetic polymer use, as both materials show a similar cohesion system at its structural level, by means of Van der Waals forces. That cohesion system is responsible of the adherence established between the gypsum matrix and the reinforcing additions, producing dihydrate's crystals on the fiber surface and achieving a perfect union between both materials during its manufacturing. A theoretical study on synthetic polymer internal structure and properties is carried out, concluding with the selection of the best to be added with the gypsum. This theoretical study is completd with: the analysis of each one of the selected polymers depending on the manofacturing process to make fibers or dispersion, and with a theoretical study of reinforced materials laying the theo retical fundamentals for the analysis of the results. An experimental process is made, verifying the joint vehaviour of each of the previously selected aditions. It determines the properfiber choice and dispersion, as well as this optimum porcentage. After the aditions has been chosen and optimised, its qualification is tested both for panels and for impact and stress tests.

GENERALIDADES

El yeso es uno de los materiales de construcción más antiguos que se conocen y que sigue manteniendo actualidad debido a sus cualidades, de entre las que pueden enumerarse las siguientes:

- Abundancia en la naturaleza.
- Bajo coste de fabricación.
- Manejabilidad.
- Propiedades de habitabilidad (acústica, higrotérmicas, etc.).

Durante los últimos años, la industria del yeso ha ido buscando nuevas aplicaciones dentro del proceso constructivo, para lo cual intenta mejorar las limitaciones existentes en algunas de sus propiedades.

La prefabricación de elementos de yeso es una de las aplicaciones que se encuentra en expansión, ya que permite obtener productos de calidad a bajo coste, y en las que su comportamiento mecánico presenta mayor incidencia.

Debido a las características específicas del material, el refuerzo puede realizarse de los siguientes modos:

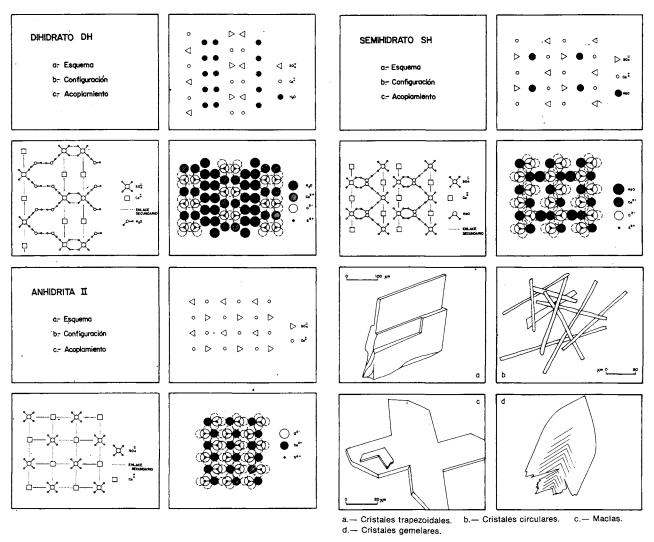
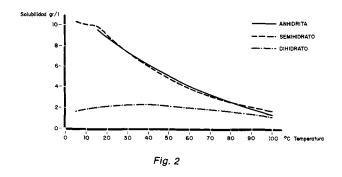


Fig. 1



- Por disminución de la separación entre cristales, aumentando la compactación del material por disminución de su porosidad interna. Se consigue disminuyendo el agua de amasado.
- Introduciendo materiales en forma de fibras distribuidas homogéneamente en el interior de la matriz de yeso que logran absorber las tensiones internas que puedan generarse.

Asimismo es posible coordinar entre sí los diferentes métodos de refuerzo con el fin de conseguir mejores resultados.

Para seleccionar aquellos productos que puedan añadirse al yeso, con objeto de aumentar su fuerza de cohesión intercristalina, o absorber las tensiones en forma de fibras, se ha utilizado la contribución de la Ciencia de Materiales, consistente en relacionar las propiedades externas del material con su estructura interna. Se realiza un estudio teórico sobre la naturaleza del yeso en sus tres niveles: atómico, subatómico y estructural que clarifica sus mecanismos de formación, y un estudio sobre materiales reforzados, centrado en los fenómenos físico-químicos que suceden entre los materiales que están en contacto, así como los mecanismos de adherencia, permitiendo seleccionar los materiales de refuerzo.

2. YESO

Del estudio sobre el yeso se obtienen las siguientes conclusiones:

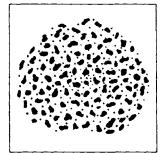
- Las molécula de sulfato cálcico y agua se encuentran unidas por enlaces secundarios de origen electroestático, debido al comportamiento dipolar de ambas moléculas.
- La relación entre las moléculas de sulfato cálcico y agua presenta diversas fases en función de la cantidad de molécula de agua en su estructura interna (dihidrato, semihidrato, anhidrita, etc.). (Fig. 1).
- Esta relación produce estructuras cristalinas diferentes para cada fase, siendo más estable la correspondiente al dihidrato.
- Cada una de las fases presenta una solubilidad distinta, debido a la acción dipolar ejercida por las moléculas de agua, siendo similar en la anhidrita y el semihidrato e inferior en el dihidrato. (Fig. 2).
- La diferencia de solubilidad viene determinada por la capacidad de cada fase de formar una solución ionizada.
- Cuando los iones son de pequeño tamaño y están fuertemente cargados, se produce una agrupación central hacia el ión más cargado.
- La velocidad de hidratación está relacionada con la diferencia de solubilidades para cada temperatura, la cantidad de fases anhidras disueltas, y la presencia de sustancias extrañas.
- La cristalización comienza por precipitación de núcleos de dihidrato en soluciones sobresaturadas de éste.
- Dependiendo de la agregación iónica formada en la disolución, los cristales de dihidrato pueden presentar aspectos muy variados, trapezoidales, prismas alargados de tipo circular, maclas lisas, escalonadas, gemelares, etc. (Fig. 1).

La resistencia mecánica del yeso es debida al entrecruzamiento de cristales, y a la existencia de una película intercristalina en los puntos de contacto existentes entre las nucleaciones, que surge por cristalización de la fase acuosa intersticial.

3. MATERIALES REFORZADOS

Del estudio sobre materiales reforzados, se obtienen las siguientes conclusiones.

- El comportamiento de los materiales reforzados depende tanto de las propiedades intrínsecas de cada agregado, como de las relaciones que se establezcan entre sus superficies.
- En la superficie de una fase existe una resultante de las fuerzas que actúan sobre una molécula, tendente a empujarla perpendicularmente hacia el interior debido a la ausencia de equilibrio de fuerzas, intentando la fase asumir la forma que presente menor área.
- Esta energía puede ser cuantificable, aportando energía calorífuga hasta producir el cambio de estado de las moléculas superficiales. En valor absoluto coincide con la tensión superficial, ya que las superficies actúan como si una fuerza estuviera siendo ejercida tangencialmente a ellas, o como si existiera una capa superficial comprimida en la superficie de la fase que produjera su minimización.
- Cuando un líquido y un sólido insoluble se ponen en contacto, las moléculas de ambas fases se atraen a lo largo de toda la superficie de contacto, siendo contrarrestada por las fuerzas de cohesión interna. En función de la diferencia de tensiones superficiales, se producirá una mayor o menor bañabilidad de un cuerpo sobre otro. Este efecto está relacionado con la sustitución de los posibles enlaces superficiales que el sólido posea y con la adhesión específica entre fases.



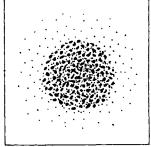


Fig. 3.—Concentración de la fase dispersa de mayor energía quedando en la superficie la de menor conexión.

- Cuando se produce una solución con varios tipos de moléculas que poseen diferentes estados cohesivos, aquéllas de menor energía cohesiva serán expulsadas hacia la superficie, disminuyendo la energía superficial de ésta. Esta tendencia a contraerse es conocida como efecto Gibbs. (Fig. 3).
- Las adiciones modifican el estado de energía superficial, denominándose sustancias tensoactivas.
- Las fibras absorben las tensiones internas que se generen en el interior de un material diferenciándose su comportamiento según sean las características de la matriz (elástica o frágil).

La selección de los polímeros sintéticos como materiales de refuerzo está basada en que poseen un sistema de cohesión macroestructural análogo al yeso, por medio de fuerzas de enlace secundario y en las siguientes propiedades genéricas:

- Altos valores de resistencia mecánica molecular.
- Bajos valores de energía superficial.
- Posibilidad de producir ordenaciones moleculares coincidentes con una dirección o plano determinado.
- Altos valores de adherencia en determinadas condiciones.
- Presencia en su superficie únicamente de enlaces secundarios.

4. POLIMEROS SINTETICOS

En base a un estudio teórico sobre los polímeros sintéticos, donde se analiza prioritariamente: su estructura interna, comportamiento mecánico, durabilidad, y las modificaciones de sus propiedades debido a la adición de cargas y los procesos de transformación, se

seleccionan aquellos que entran a formar parte del material compuesto.

Del estudio teórico se obtienen las siguientes conclusiones:

- La estructura polimérica está formada por entrelazamientos de macromoléculas formadas por enlaces covalentes, y unidas entre sí por enlaces secundarios, formando estructuras amorfas.
- El enlace covalente presenta las siguientes características que influyen sobre el comportamiento mecánico de la macromolécula: enlace direccional, debido a la repulsión de sus nubes con cada nube electrónica. Posibilidad de movimiento angular entre cada pareja de átomos. (Fig. 4).
- Las macromoléculas pueden ser lineales, espaciales o ramificadas, obteniéndose propiedades diferentes.
- El comportamiento mecánico de las macromoléculas está relacionado con: El tipo de macromolécula (según sea termoplástica, termoestable o termoendurecible). El tamaño de las macromoléculas (la mayor longitud conlleva un mejor comportamiento mecánico siempre que se eviten las tensiones residuales), y la macroestructura (con comportamientos viscoelásticos o vidriosos dependiendo de la temperatura). (Fig. 5).
- El comportamiento mecánico de la estructura polimérica está influenciado por: Las características de las macromoléculas, la paracristalinidad, la temperatura, los aditivos y cargas que se introduzcan y el método de transformación. (Fig. 6).
- La durabilidad se ve afectada por la acción combinada de la temperatura, la radiación solar y el oxigeno ambiental; provocando: la escisión de cade-

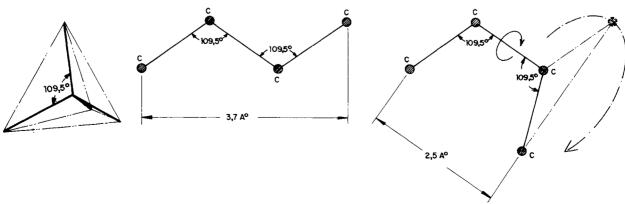


Fig. 4

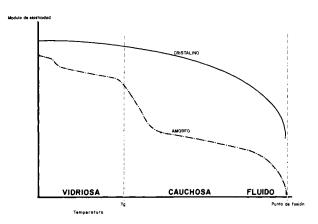


Fig. 5.—Relación entre la temperatura y el módulo de elasticidad en los polímeros.

nas, reticulación, formación de cadenas laterales, modificación de la paracristalinidad, etc. Estas acciones traen como consecuencia: la disminución del peso molecular, pérdida de flexibilidad debido a los enlaces cruzados favoreciendo la rotura frágil, decoloración, etc.

 El comportamiento superficial viene determinado por las características de las macromoléculas que determinan el aspecto formal de la superficie del polímero, y por las características polares de orientación de las macromoléculas, que están determinadas por la carga electrostática de sus elementos laterales, en función de la diferencia de electronegatividad de los átomos que componen la molécula.

En base a las conclusiones obtenidas en los estudios teóricos, se seleccionan dos tipos de polímeros idóneos para reforzar al yeso.

Para utilizarlos en forma de fibras, es necesario que las macromoléculas presenten una directriz lineal que facilita el proceso de transformación; de entre éstas seleccionamos:

El polipropileno por ser polarmente simple y facilitar la adherencia, siendo más resistente que los celulósicos, y por no reaccionar con los plastificantes como los vinílicos presenta: una buena resistencia química, siendo inalterable por la acción del agua una buena mecanibilidad para su transformación de fibras, una buena resistencia a la fatiga, un bajo coste, y un buen aislamiento eléctrico, que indica un alto comportamiento polar. Como limitaciones presenta una fragilidad a bajas temperaturas, y poca resistencia al envejecimiento por la acción de los rayos ultravioletas.

ELEMENTOS LATERALES	ESTADO CRISTALINO CONDICIONADO
CONFIGURACION "CIS" ORDENACION ISOSTACTICA	ESTADO CRISTALINO CONDICIONADO
CONFIGURACION "TRANS" ORDENACION SINDIOTACTICA	ESTADO CRISTALINO CONDICIONADO

Fig. 6

- Las resinas acrílicas han experimentado un espectacular avance tecnológico con la aparición de las fibras de alta tenacidad. Los polímeros acrílicos presentan una buena resistencia a la intemperie, una limitada absorción de agua, y un coste superior al polipropileno. Dentro de los acrílicos el poliacrilonitrilo es el que presenta mayores valores de resistencia mecánica y es fácilmente transformable en fibras.
- Los poliésteres son resinas termoestables que pueden ser transformables en fibras si se obtienen a partir del ácido tereftálico, debido a la posición enfrentada de los grupos carboxilos, siendo el polietilentereftalato muy utilizado en la industria textil (para añadirlo al yeso ha sido tratado químicamente quitando el ensimaje superficial que evita la adherencia).

Los poliésteres presentan un costo inferior a los epóxidos y las poliamidas, y mayores valores de resistencia mecánica y de durabilidad entre los agentes atmosféricos que los poliuretanos.

Para utilizarlos en forma de dispersiones es necesario que se produzca un efecto fluidificante que permita reducir el agua de amasado, logrando una aproximación entre los cristales de yeso, una acción adhesiva en la película intercristalina, y una modificación de la tensión superficial de la solución del yeso en agua, que facilite la creación de una interfase con las fibras, seleccionándose los siguientes:

- El acetato de polivinilo, y los derivados del ácido acrílico, presentan radicales (—COO—CH₃) que producen fenómenos de adhesión por reacción química, aunque endurezcan por medios puramente físicos, produciendo conexiones entre los núcleos de dihidrato.
- La melamina-formaldehido producirá una reticulación espacial en la película intercristalina entre los núcleos de dihidrato y entre las cristalizaciones posteriores, y al no poseer grupos OH como los fenoplastos no producirá inhibiciones en los fenómenos de hidratación del yeso.

5. ENSAYOS

Una vez analizados y seleccionados los materiales para reforzar el yeso, se realizan unos ensayos comparativos, de acuerdo al RY.85 epígrafe 7 «Métodos de ensayo», y a la norma UNE 102.031 «Yesos» donde se comprueban los efectos mecánicos que los refuerzos producen, y su optimización.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) Los materiales utilizados en los ensayos son los siguientes:

Yeso:

Escayola E.35.L.

Fibras:

- Polipropileno.
- Polietilentereftalato.
- Poliacrilonitrilo.

Dispersiones: -

- Policondensado de melaminaformaldehido.
- Acetato de polivinilo.
- Copolímero a base de ésteres de ácido acrílico.

Se efectúa un análisis químico y difracción de rayos X de la escayola, obteniénse la siguiente composición:

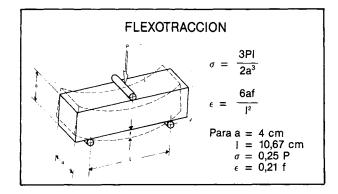
Semihidrato	92,0	%
Anhídrita	3,7	%
CO ₃ Ca	0,3	%
CO ₃ Ma	1,7	%
SiO ₂ e insoluble	1,8	%
Oxidos	0,4	%
Cl Na	0.1	%

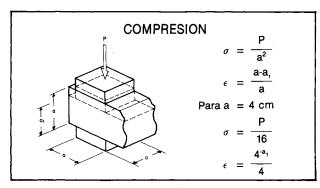


Los ensayos de flexotracción y compresión sobre probetas prismáticas de 4X4X16 cm, se estructuran en tres etapas, realizándose un total de 309 probetas y 582 ensayos. (Fig. 7).

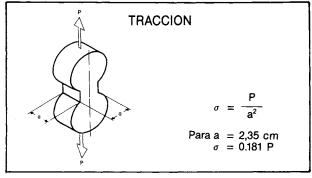
- Ensayos previos con un porcentaje fijo entre la escayola y las seis adiciones, con el fin de comprobar si alguna de ellas presenta un comportamiento diferenciado.
- Ensayos individuales con diferentes porcentajes de cada una de las adiciones con la escayola, con el fin de observar las diferencias de comportamiento y el porcentaje óptimo de cada una de ellas.
- Ensayos sobre mezclas binarias con diferentes porcentajes de adición de fibra y dispersión, comprobándose la influencia binaria sobre los valores obtenidos con mezclas unitarias.

http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es









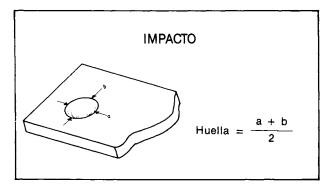


Fig. 7

Una vez optimizados los porcentajes binarios de adición, se comprueban éstos, sobre placas a flexotracción y a impacto, sobre ochos a tracción, se estudia la variación de la porosidad y los tiempos de fraguado, observándose las variaciones en los resultados con respecto a la escayola sin aditivar mediante la realización de 16 probetas y 97 ensayos.

De los ensayos realizados se obtienen los siguientes gráficos y resúmenes de resultados.

- Ensayos individuales de flexotracción y compresión con probetas prismáticas.

- Ensayos binarios de flexotracción y compresión con probetas prismáticas.
- Resumen de resultados de flexotracción y compresión con probetas prismáticas.
- Ensayos de flexotracción con placas.
- Ensayos de impacto con placas.
- Porosidad.
- Tiempo de fraguado.
- Ensayos de tracción con ochos.

COMPUESTO DE YESO REFORZADO CON MEZCLAS UNITARIAS DE FIBRAS POLIMERICAS

Yeso: Escayola E-35-L

Fibra acrílica: Poliacrilonitrilo

Fibra de poliéster: Polietilentereftalato

Fibra de Polipropileno

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L ADICION: FIBRA ACRILICA

CONCLUSIONES

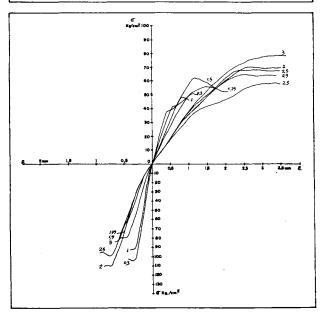
adición.

Gran aumento de la capacidad de deformación. Modificación del módulo de elasticidad a partir del 2% de

Gran aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensio-

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPONENTES

2,0

2.5

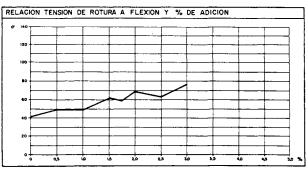
MATRIZ : E - 35 - L ADICION: FIBRA ACRILICA

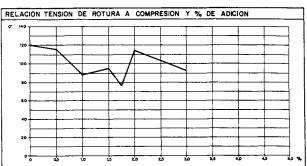
RESUMEN DE RESULTADOS % ADICION VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm. VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm 40.91 120.0 0.5 49,86 48,66 61,87 59,0 1.75 114,37

69,08

63,08

103,66





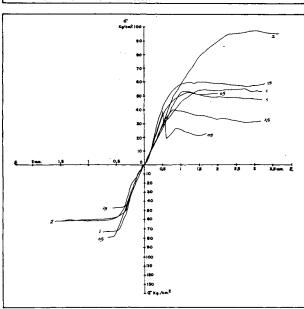
COMPONENTES

CONCLUSIONES

MATRIZ: E-35-L ADICION: FIBRA DE POLIESTER

Gran aumento de la capacidad de deformación. Aumento de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

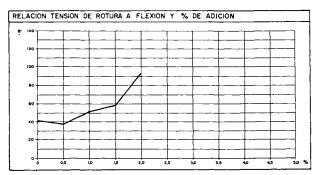
GRAFICAS TENSION DEFORMACION

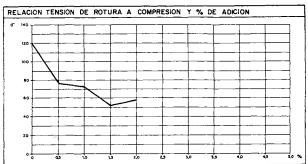


COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L ADICION: FIBRA DE POLIESTER

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm
0	40,91	120,0
0.5	38,0	76,54
10	51.12	73,68
1.5	58.5	52,79
2,0	93,0	59,52
		<u> </u>
		<u> </u>





COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO

CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción.

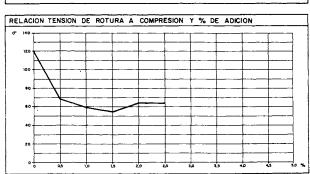
Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

COMPONENTES

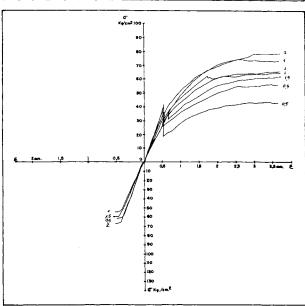
MATRIZ: E-35-L ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm2	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm
0	40,91	120.0
0,5	43,66	67.5
1,0	55,58	59,72
1,5	51,33	54,68
2.0	65,0	64,08
2,5	60,25	63,02
		<u> </u>

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



GRAFICAS TENSION DEFORMACION



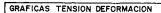
COMPONENTES

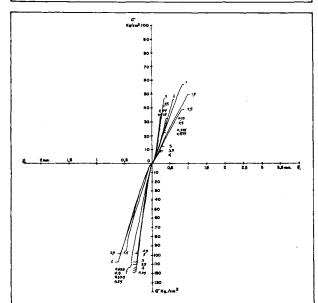
MATRIZ: E-35-L ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO

CONCLUSIONES

COMPUESTO DE YESO REFORZADO CON MEZCLAS UNITARIAS DE DISPERSIONES **POLIMERICAS**

Aumento de la dureza superficial Efecto fluidificante.





Yeso: Escayola E-35-L

Dispersión de Policondensado de Melamina-Formaldehido.

Dispersión a base de acetato de polivinilo.

Dispersión copolímera a base de ésteres de ácido acrílico

COMPONENTES

CONCLUSIONES

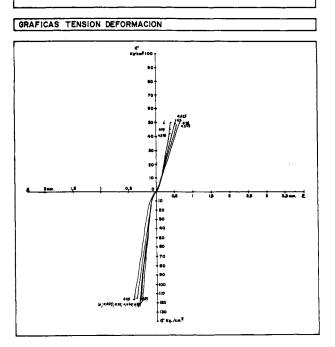
MATRIZ: E-35-L ADIGION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO

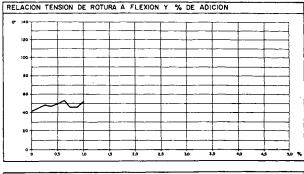
COMPONENTES

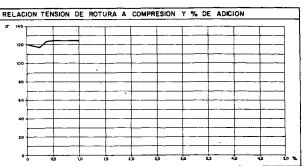
ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO

Efecto fluidificante
Aumento de los valores de consistencia mecánica ante tensiones
de flexotracción y compresión.

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm.	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm
00_	40,91	120,0
0,25	48,25	117,02
0.375	46,91	122,52
0.5	49,41	>125
0,625	53,08	>125
0,75	46,50	>125
0.875	45,83	> 125
1.0	51.75	> 125
	7	

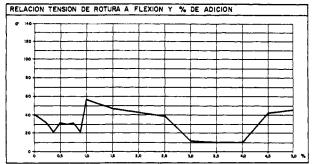


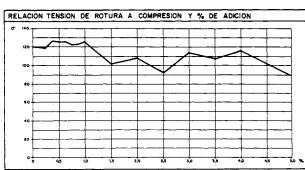




	E-35-L				
ADICION:	POLICONDENSADO	DΕ	MELAMINA	Y	FORMALDEHIDO

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm2	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm
	40.91	120,0
0.25	31,08	118,69
0.375	21,25	125,0
0.5	31,0	124,23
0.625	30,62	>125,0
0.75	31,16	121,72
0.875	21,66	122,08
1,0	57,83	> 125,0

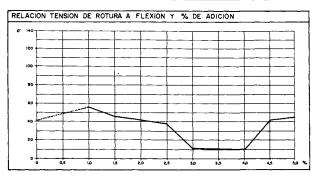


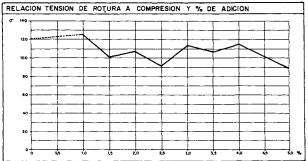


COMPONENTES lª Serie

MATRIZ: E-35-L ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO

ESUMEN DE RESULTADOS							
% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm					
0	40.91	120.0					
1.0	57,83	125.0					
1,5	47,66	100,83					
2,0	43,91	108,56					
2.5	39,75	91,14					
3,0	11,0	114,91					
3,5	10,08	108.85					
4,0	10,0	117,52					
4,5	43,75	101.02					
5.0	46.66	89 33					





COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO

ACRILICO

CONCLUSIONES

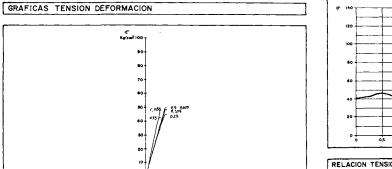
Efecto fluidificante

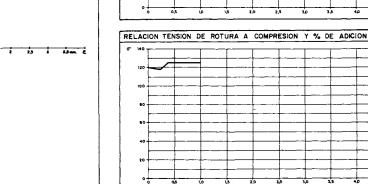
Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión.

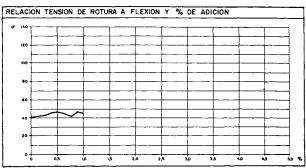
COMPONENTES

ADICION: DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm2	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm
0 .	40.91	120,0
0.25	_43,75	118,15
0 375	46,25	> 125,0
0.5	47,16	> 125.0
0.625	45,83	> 125,0
0.75.	41,41	> 125,0
0.875	47,16	> 125,0
1.0	45.91	≥ 125.0







COMPUESTO DE YESO REFORZADO CON MEZCLAS BINARIAS DE FIBRA ACRILICA Y **DISPERSIONES**

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO

Gran aumento de la capacidad de deformación.

Ligero aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión comparado con los obtenidos con la adición de fibras sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

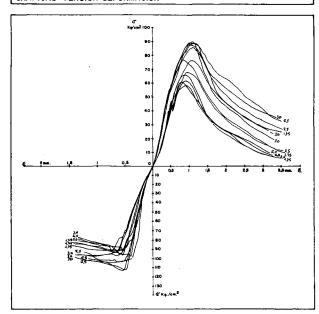
CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación

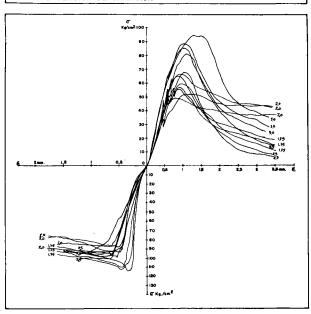
Ligero aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO REFORZADO CON MEZCLAS BINARIAS DE FIBRA DE POLIESTER Y DISPERSIONES DISPERSION DE ACETATO DE P.V.

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación.

Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Disminución de los valores de resistencia mecánica ante tensión de flexotracción comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil, mateniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas

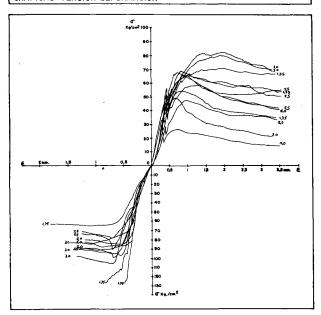
Gran aumento de la capacidad de deformación.

Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra

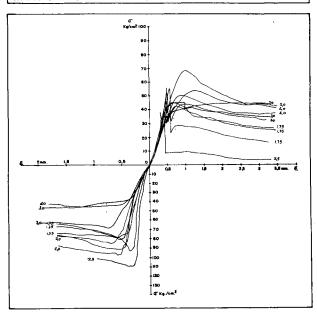
Disminución de los valores de resistencia mecánica ante tensión de flexotracción comparados con los obtenidos con la adición de

fibra sin dispersión. Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



GRAFICAS TENSION DEFORMACION



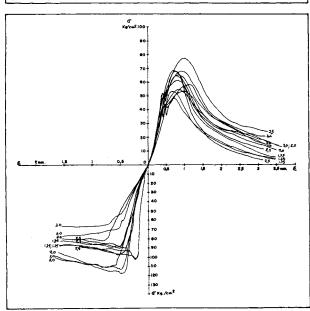
DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO

CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación Ligero aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión, comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

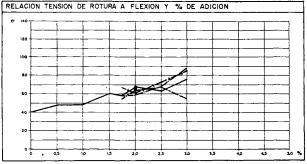
GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPONENTES MATRIZ: E-35-L ADICION: FIBRA ACRTICA ; DAP

CON DISPERSIONES

%	ADICION	VALOR	MEDIO FLEX	ION Kg/cm.	VALOR ME	DIO COMPRES	ON Kg/cm ⁴
FIBRA DISPERSION		TIPO DE DISPERSION			TIPO DE DISPERSION		
	_		43,62		>125		
		DM	DAP	DA	DM	DAP	DA
2,0	1,0	65,0	69,16	66,16	111,12	113,29	116,37
1,75	0,5	67,33	58,0	55,58	97,27	114,56	98,54
2,0	0,5	61,75	59,33	65,17	94,89	104,20	114,29
2.5	0,5	82,92	69,83	68,58	112,62	99,66	91,29
3.0	0.5	86,25	88,41	54,83	101,75	93,58	74,81



SIN DISPERSION --+-DAP -- DA --- - DM • DAP • DA c RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION

DISPERSION CCP. ESTERES ACIDO ACRILICO

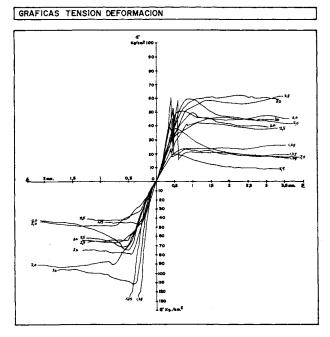
CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación.

Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra

Disminución de los valores de resistencia mecánica ante tensión de flexotracción comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de



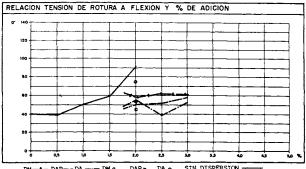
COMPONENTES

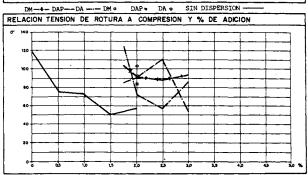
MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER ; DAP

CON DISPERSIONES

RESUMEN DE RESULTADOS VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm2 VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
TIPO DE DISPERSION % ADICION DISPERSION TIPO DE DISPERSION 43,62 DM 93,29 84,21 103,31 45,66 53,75 2.0 1.0 75.0 1,75 46,87 104,93 86,50 >125 0.5 2.0 0,5 54,83 38,50 50,33 52,66 92,39 89,93 93,56 73,0 58,43 55,43 94,37 57,66 3.0 0.5 70,50 52,16





COMPUESTO DE YESO REFORZADO CON MEZCLAS BINARIAS DE FIBRA DE POLIPROPILENO Y DISPERSIONES

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO

CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación.

Gran aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

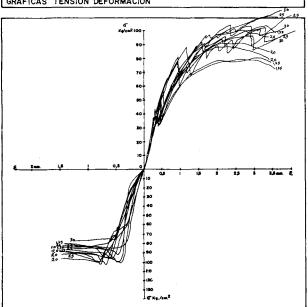
CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación

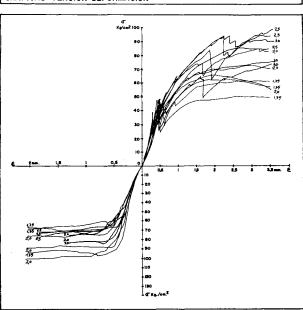
Gran aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



GRAFICAS TENSION DEFORMACION



Resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de flexión de las mezclas unitarias y binarias del compuesto de yeso reforzado

FA fibra acrílica.

FP fibra de poliéster.

FPP fibra de polipropileno.

DM dispersión de melamina-formaldehido.

DAP dispersión de acetato de polivinilo.

DA dispersión de ácido acrílico.

Gran aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión comparados con los obtenidos $\frac{1}{2}$

Ausencia de rotura frágil manteniéndose unidos los extremos de

Gran aumento de la capacidad de deformación.

con la adición de fibra sin dispersión.

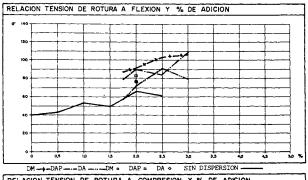
las probetas ensayadas.

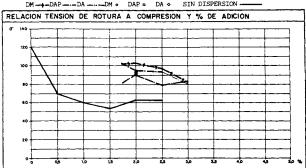
CONCLUSIONES

MATRIZ: E-35-L ADICIONFIBRA DE POLIPROPILENO ; DAP

CON DISPERSIONES

%	% ADICION VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm2			VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm!				
FIBRA	DISPERSION	TIPO DE DISPERSION			TIPO DE DISPERSION			
-		43,62		125				
		DM	DAP	DA	DM	DAP	DA	
2.0	1.0	76,16	83,25	77,66	91,93	93,33	93,95	
1,75	0,5	86,08	78,17	57,25	1.00,69	102,35	81,47	
2,0	0,5	91,33	90,50	72,66	103,25	94,33	90,31	
2,5	0,5	104,0	84,0	92,58	97,35	93,75	79,52	
3.0	0.5	107,25	109,58	79,33	82.39	79.56	81,40	





Tam. 1,8 0,5 0,5 0,5 0,5 0,5 0,5 0,5 0,5 0,5 0,5
inio

TABLA 1

ENSAYO DE FLEXION																
71 (. A.P. 11.	PORCENTAJES															
Tipo de Adición	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1,0	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
FA FP		-	21,8 -7,1				18,9 24,9	51,23 43,0	44,2	68,85 127,3	54,1	88,82				
FPP			6,7				38,9	25,5		58,9	47,3					
DM DAP DA	-21 18 6,9	48 14,7 13,05	-24,2 20,8 15,3	-25,1 29,8 12,0	-23,8 13,7 1,2	-47 12 15,3	41,3 26,5 12,2	16,4		7,3	-2,8	—73	—75,3	- 75	6,9	14
FA-DM (0,5) FA-DAP (0,5) FA-DA (0,5)									64,6 41,8 35,9	51,0 45,0 59,3	102,7 70,7 67,7	110,8 115,4 34,1				
FP-DM (0,5) FP-DAP (0,5) FP-DA (0,5)									52,6 19,4 14,6	39,6 34,0 23,0	52,6 5,8 28,8	72,3 27,5 41,0				
FPP-DM (0,5) FPP-DAP (0,5) FPP-DA (0,5)									110,4 91,0 40,0	123,3 121,2 77,6	154,2 105,4 126,3	167,9				

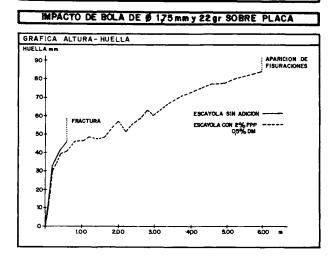
ENSAYO DE IMPACTO EN PLACAS

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

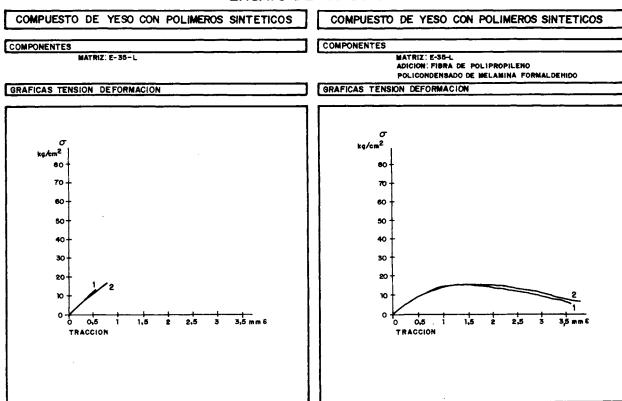
COMPUESTO DE YESO REFORZADO CON POLIMEROS SINTETICOS

Ensayos de comprobación:

- impacto,
- tracción,
- flexión en placas.



ENSAYO DE TRACCION



ENSAYO DE FLEXOTRACCION EN PLACAS

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

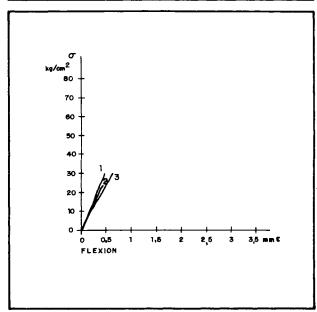
MATRIZ : E-35-L

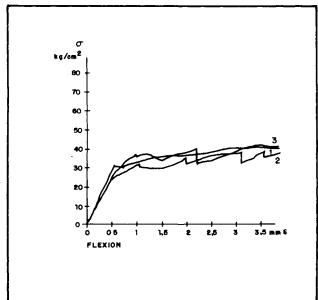
COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO

GRAFICAS TENSION DEFORMACION







RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXION EN PLACAS (Tabla 2)

TABLA 2

Ensayo de flexión	Tipo de adición	Incremento porcentual de resistencia con relación a la escayola sin aditivar
Probetas prismáticas	FPP. DM	123,3%
Placas	FPP. DM.	45,05%

Porosidad	Coef. de absorción %	Densidad aparente gr./cm. ³	Porosidad %
Escayola sin aditivar	43,2	1,14	50
Escayola con fibra de polipropileno 2% y dispersión de melamina-formaldehido 0,5%	40,8	1,10	44,9

Tiempos de fraguado	Comienzo de fraguado min.	Final de fraguado min.		
Escayola sin adición	11,5	24		
Escayola con fibra de poli- propileno 2% y dispersión de melamina-formaldehido 0,5%	6	12		

6. ANALISIS DE LINEAS DE FRACTURA Y ADHERENCIA

Una vez ensayadas las probetas, se analizan las líneas de fractura (cantidad, forma y distribución), observándose en las probetas de adiciones binarias realizadas con fibras de polipropileno, una mayor distribución de esfuerzos, aparición de líneas de rotura debido a la acción de tensiones de cortante, y agotamiento por compresión en el entorno de los apoyos.

La adherencia existente entre la matriz y los agregados responsable del comportamiento mecánico, puede también observarse mediante el microscopio electrónico de barrido, sobre fibras extraidas de la matriz, donde se observan cristalizaciones de dihidrato adheridas a la superficie de la fibra.

7. ELECCION JUSTIFICADA DEL TIPO Y PORCENTAJE IDONEO DE ADICION

De los análisis efectuados en los epígrafes anteriores sobre el comportamiento mecánico y las líneas de fractura de las probetas de escayola aditivadas, se puede deducir cuál de las adiciones presenta una mejor adherencia y con qué porcentaje se consiguen los valores de resistencia idóneos.

De la totalidad de adiciones agregadas a la escayola se observa que las mezclas binarias de fibras y dispersiones consiguen efectos sinergéticos sobre los valores mecánicos obtenidos con las adiciones individuales de fibras y dispersiones. Entre las mezclas binarias destacan las realizadas a base de fibra de polipropileno.

Del análisis de las líneas de fractura también se observa que las mezclas binarias a base de fibra de polipropileno presentan una adherencia mayor con la matriz.

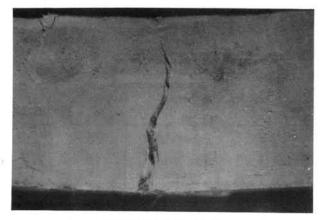
Los análisis de la forma de las gráficas de tensióndeformación y de las líneas de rotura de las mezclas binarias a base de fibras de polipropileno no nos permiten seleccionar de un modo objetivo con cuál de las dispersiones se consigue un mejor comportamiento conjunto.

La selección del tipo y porcentaje idóneo se obtiene observando los resultados mecánicos obtenidos en los ensayos de flexión y compresión, cuyos valores se encuentran en el resumen de resultados.

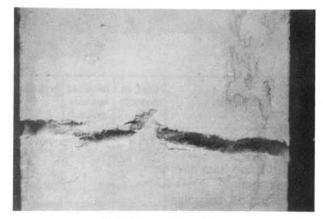
La mezcla binaria de fibra de polipropileno con dispersión de melamina-formaldehido consigue mejores resultados para todos los porcentajes añadidos de fibra con un 0,5 % de dispersión, a excepción del 3 % de adición de fibra, en donde la dispersión de acetato de polivinilo alcanza un incremento del valor de la tensión del 2,1 % para el ensayo de flexión.

Adiciones binarias con fibra acrílica

Fibra acrílica con dispersión de ácido acrílico

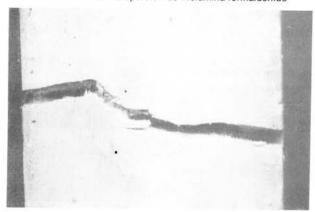


Vista lateral de la probeta
© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



Vista inferior de la probeta http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Fibra acrílica con dispersión de melamina-formaldehido



Vista inferior de la probeta

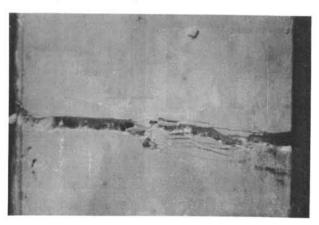
Fibra acrílica con dispersión de acetato de polivinilo



Vista inferior de la probeta

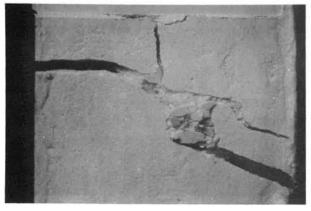
Adiciones binarias con fibra de poliéster

Fibra de poliéster con dispersión de melamina-formaldehido



Vista inferior de la probeta

Fibra de poliéster con dispersión de acetato de polivinilo



Vista inferior de la probeta © Consejo Superior de Investigaciones Científicas Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Fibra de poliéster con dispersión de ácido acrílico



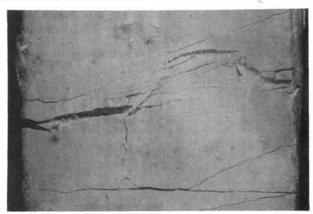
Vista inferior de la probeta http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Adiciones binarias con fibra de polipropileno

Fibra de polipropileno con dispersión de melamina-formaldehido



Vista lateral de la probeta

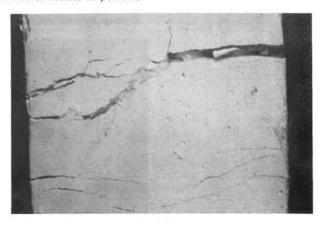


Vista inferior de la probeta

Fibra de polipropileno con dispersión de acetato de polivinilo

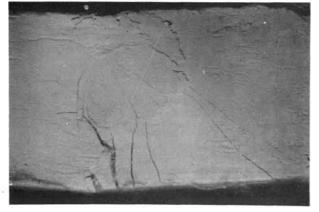


Vista lateral de la probeta

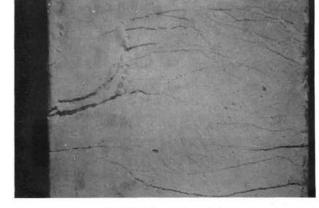


Vista inferior de la probeta

Fibra de polipropileno con dispersión de ácido acrílico



Vista lateral de la probeta

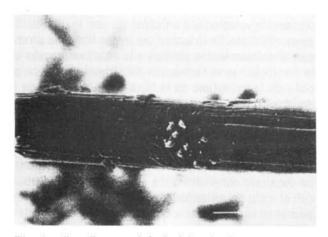


Vista inferior de la probeta http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Comprobación de la adherencia con el microscopio electrónico de barrido.



Aspecto general de la superficie de rotura



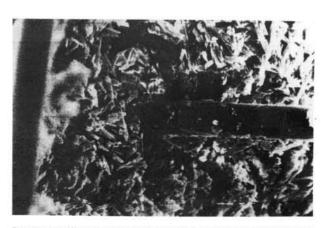
Fibra de polipropileno con algún depósito cristalino en su superficie



Detalle de la superficie de la fibra de polipropileno

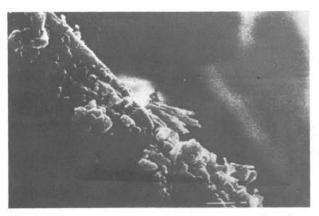


Microestructura de la superficie de escayola

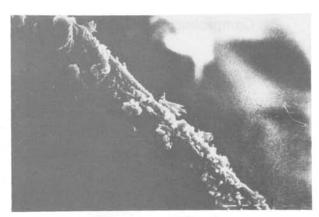


Detalle de la fibra de polipropileno saliendo de la superficie de rotura de la escayola

http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



Detalle de la fibra anterior donde se aprecia la generación en la superficie de la fibra de maclas cristalinas de dihidrato



Fibra de polipropileno con abundantes cristalizaciones de dihidrato en su superficie

8. INTERPRETACION DE RESULTADOS

El incremento de resistencia que consigue la adición binaria de fibras cortadas de polipropileno y dispersión de melamina-formaldehido, es debido a los efectos que las fibras y las dispersiones individual y conjuntamente, generan duran el fraguado de la escayola y una vez fraguada ésta.

Las fibras de polipropileno, debido a la polaridad del grupo metilo, actúan en su superficie generando núcleos de dihidrato. La carga polar de la superficie de la fibra, atrae a las moléculas de agua con el semihidrato disuelto, produciendo a su alrededor unos arracimamientos iónicos que provocan una solución sobresaturada, en la cual el dihidrato neutraliza su carga iónica, pierde solubilidad y precipita formando núcleos de dihidrato adheridos a la superficie de la fibra.

La dispersión, en función del efecto Gibbs concentra a las fases de semihidrato disueltas, sobresaturando la disolución y provocando la precipitación del dihidrato, formando una película interfacial entre ellas, que produce un efecto fluidificante durante el fraguado, y una interfase una vez finalizado, que favorece la adherencia específica entre cristales, dando lugar a un mecanismo puente, por el cual algunas moléculas del polímero son incorporadas en más de un cristal pequeño. Estos fenómenos están directamente relacionados con la agitación de la mezcla. Debido al efecto fluidificante, permite reducir el agua de amasado, reduciendo la porosidad y dando lugar a una estructura más compacta. El efecto Gibbs es el responsable también del aumento de dureza superficial existente en la superficie de las probetas.

Al mezclar conjuntamente las fibras y la dispersión, no se establece entre ellas relaciones de adherencia por poseer tensiones superficiales análogas, quedando la dispersión relacionada únicamente con la disolución de semihidrato. En la superficie de las fibras se producen arracimamientos iónicos y la sobresaturación de la disolución se ve favorecida doblemente por la carga polar de la superficie de la fibra y por la acción de la dispersión que concentra a las fases de semihidrato sobre la superficie de ésta. La disolución produce el endurecimiento de la fase acuosa intersticial, favoreciendo la adherencia específica entre cristales y el mecanismo puente, interrelacionando las cristalizaciones de dihidrato adheridas a las superficies de las fibras con el resto del entramado cristalino. Esta acción combinada es la responsable de los aumentos de resistencia conseguidos, a flexotracción, compresión, impacto y tracción.

9. CONCLUSIONES

- Es posible modificar las características mecánicas del yeso mediante la adición de fibras y dispersiones poliméricas.
- La adición de fibras poliméricas con porcentajes iguales o superiores al 2 por ciento de adición, cambia la rotura frágil del material híbrido, dotándole de características dúctiles.
- La adición combinada de dispersión de policondensado de melaminaformaldehido, de dispersión a ba-

se de acetato de polivinilo, o de dispersión copolímera a base de ésteres de ácido acrílico:

- a) con fibra acrílica no produce aumentos en los valores mecánicos en comparación, con los obtenidos sólo con la adición de ésta.
- b) Con fibra de poliéster produce minoraciones en los valores mecánicos en comparación con los obtenidos sólo con la adición de ésta.
- c) Con fibra de polipropileno produce una acción sinergética, con aumentos en los valores mecánicos en comparación con los obtenidos sólo con la adición de ésta.
- La adición combinada de fibra de polipropileno con dispersión de policondensado de melaminaformaldehido, se considera la más idónea para reforzar al yeso, así como especialmente indicada para absorber las tensiones internas generadas por choques o impactos producidos en su superficie.
- Los incrementos de valores de resistencia mecánica que produce esta adición combinada, está relacionados con la forma de la probeta, consiguiéndose menores incrementos con placas que con probetas prismáticas.
- Existe una buena adherencia entre el yeso y las adiciones de fibra de polipropileno y dispersión de policondensado de melamina-formaldehido.

publicación del IETcc / CSIC

La experiencia nacional en construcción industrializada en la última década, aunque no abundante, puede resultar paralizante. Como reacción, este trabajo trata de elaborar y ordenar la información que, pegado al terreno, se ha acumulado durante los sesenta.

Auscultando tendencias avanzadas en otros países y apoyándose en nuestra realidad cotidiana, el autor de este trabajo apuesta por la industrialización, presintiendo un futuro con pocos puntos en común con lo que en general, hasta bien reciente, se ha conocido como construcción industrializada.



Se abre el trabajo con un prólogo del Profesor Ciribini en el cual, con rigor conceptual y desde su rica experiencia, analiza algunos de los conceptos más polémicos del fenómeno de industrialización del sector construcción. El autor recopila un conjunto de aportaciones de maestros de la arquitectura al lento proceso de evolución tecnológica y conceptual, continuando con un intento de respuesta realista a la interrogante que flota en el sector nacional: ¿requiem por la industrialización?

Se dedican otros capítulos a revisar lo realizado y a encarar el futuro inmediato: el concepto de componente, su repercusión económica, la dificultad del proyecto a base de productos industriales, la nueva vigencia embrionaria de la construcción por medio de catálogos, los conceptos de flexibilidad e intercambiabilidad desde una óptica práctica... Especial atención dedica este trabajo a la exposición de lo que podiamos llamar nuevos derroteros de la coordinación dimensional, aportando una visión actualizada y pragmática de los enfoques más implantados en Europa.

Las siempre problemáticas interrelaciones entre normativa, calidad e industria se detallan de forma documentada y realista. Finaliza el trabajo con unas reflexiones dirigidas al ámbito empresarial y un esbozo de «reglas de juego» que faciliten al subsector la salida del «impasse» actual.

Un volumen encuadernado en rústica, de 24 × 16,5 cm, compuesto de 160 páginas, con 109 figuras, 19 tablas y 86 referencias bibliográficas. Madrid, junio, 1981.

Precios: España 1.200 PTAS. Extranjero 19 \$ USA.