

IMPORTANCIA DE LA RETRORREFLEXION EN LA SEGURIDAD VIAL. II. VISIBILIDAD NOCTURNA EN LAS MARCAS VIALES

FRANCISCA CASTILLO RUBI (*)
MANUEL BLANCO FERNANDEZ (**)
RAFAEL NIETO MASIDE (***)

RESUMEN. El presente trabajo trata de dar una visión general del fenómeno de retroreflexión en las marcas viales, así como del papel que juegan en el mismo las microesferas de vidrio.

Se han determinado los valores del coeficiente de retroreflexión (visibilidad nocturna) en diferentes tramos de carreteras en los primeros días de la aplicación y al cabo de un año de la puesta en servicio.

ABSTRACT. *The aim of this work is to provide a general idea about the phenomenon of retroreflection in road marking and also in glass beads.*

On the other hand, we have determined the retroreflection coefficient in different areas of the roads after the application and one year later too.

1. INTRODUCCION

En la primera parte de este trabajo se habló del problema del fenómeno de la retroreflexión en la seguridad vial, pero centrándonos exclusivamente en la señalización vertical (1). En este trabajo vamos a tratar dicho fenómeno para el caso de las marcas viales (señalización horizontal).

En un principio, la señalización horizontal de las carreteras se limitaba a curvas, puentes, cambios de rasante y lugares concretos de peligro, los cuales debían ser convenientemente advertidos, pero con el aumento del tráfico en las carreteras ha sido necesario mejorar la calidad de las mismas.

Con una buena señalización horizontal se consigue que el conductor pueda circular en las mejores condiciones para que haya el menor número de accidentes.

A una señalización horizontal se le ha de exigir que sea duradera y que sea visible tanto de día como de noche; para conseguir estos dos objetivos es necesario que las pinturas de tráfico empleadas cumplan una serie de propiedades y además que la pintura elegida sea la más adecuada según el tipo de pavimento.

Generalmente, las pinturas empleadas en la señalización horizontal se pueden clasificar en:

- Pinturas convencionales:
 - Alcídicas puras.
 - Alcídicas modificadas con clorocaucho.
 - Acrílicas.
- Plásticos de dos componentes de aplicación en frío.
- Termoplástico de aplicación en caliente.

Solamente hemos dado una idea general de las pinturas que normalmente se emplean en las marcas viales, ya que el objeto de este trabajo es tratar de explicar el fenómeno de la retroreflexión en las marcas viales.

De día, pero sobre todo de noche, fuera de las zonas iluminadas, la señalización horizontal de las calzadas es el elemento esencial que permite discernir la trayectoria a seguir, organizar la distribución del tráfico y prevenir los riesgos de accidentes. Por tanto, es absolutamente indispensable que la visibilidad de las marcas sea óptima.

La visibilidad de día es fácil de obtener por medio de productos de color claro (rayas blancas), que contrasta con el color oscuro de la calzada. En cuanto a la visibilidad de noche, se obtiene añadiendo microesferas de vidrio al producto de señalización (la pintura), ya sea por incorporación previa en dicho producto, por pulverización o por combinación de ambos métodos.

Es importante saber que el ojo humano presenta una agudeza visual máxima en el interior de un cono cuyo ángulo vale tres grados. No obstante, la visión mantiene

(*) Doctora en Ciencias Químicas. Jefe de la División de Materiales Orgánicos del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX IMOPUI.

(**) Doctor en Ciencias Químicas. Jefe del Sector de Materiales del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX IMOPUI.

(***) Jefe de Sección del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX IMOPUI.

una buena sensibilidad hasta los diez o doce grados, dependiendo de las personas.

Asimismo se sabe que el tiempo que invierte el ojo humano en reconocer un objeto es de 0,2 segundos en condiciones normales. En conclusión, si los ojos de un conductor de un vehículo de turismo están a 1,10 metros del suelo, las marcas situadas de 20 a 150 metros de distancia se verán en un ángulo comprendido entre 30 minutos y 3 grados.

Con objeto de comprender mejor el fenómeno de la retrorreflexión, creemos que es conveniente dar una idea de lo que son las microesferas de vidrio empleadas en las marcas viales. A continuación vamos a comentar los fenómenos de reflexión que tienen lugar cuando la luz incide sobre un determinado material y finalmente ya estaremos en condiciones de explicar los fenómenos de retrorreflexión.

Por otro lado, todas las definiciones y términos dados en la primera parte de este trabajo (1) son válidos para todo lo que se diga en este artículo. Por lo que no vamos a volver a definir todos los conceptos que allí se dieron.

2. MICROESFERAS DE VIDRIO. DEFINICION Y CARACTERISTICAS

Las microesferas tienen forma de esferas perfectas, de superficie lisa y brillante, de gran dureza y totalmente inflamables.

Han de estar hechas de vidrio totalmente transparente, es decir, han de ser incoloras, con objeto de no modificar el tono del producto de señalización a la luz del día.

El índice de refracción igual o superior a 1,50 asegura una retrorreflexión eficaz, sea cual sea la naturaleza del soporte.

La inercia química garantiza la duración del produc-

to de señalización. Son resistentes al agua, al ácido y al cloruro cálcico.

Se las puede someter a un tratamiento de hidrofugación (que permite conservarlas sin precaución particular) o a un tratamiento de superficie específico para el soporte al que se incorporarán.

3. FENOMENO DE LA REFLEXION

Cuando la luz incide sobre un objeto, una porción de esta luz incidente es reflejada, otra porción es absorbida por el material y el resto de la luz incidente es transmitida. Por esta razón, los objetos pueden clasificarse en OPACOS cuando la componente transmitida es tan pequeña que es despreciable (no deja pasar la luz incidente). En el caso contrario se dice que un objeto es TRANSPARENTE cuando tiene una componente especular que no es despreciable (deja pasar la luz incidente). Se podría decir que un objeto es transparente si la cantidad de luz transmitida es demasiado grande para ser despreciada.

En el fenómeno de la reflexión es necesario hablar de la reflexión especular, regular, difusa, total y direccional.

3.1. REFLEXION ESPECULAR (EFECTO DE ESPEJO)

Cuando el material opaco tenga una superficie perfectamente lisa, puede decirse que dicho material es semejante a un espejo. Por tanto, si un haz colimado incide sobre una superficie lisa con un ángulo α , después de sufrir reflexión con el material, el rayo de luz continuará siendo colimado y formando un ángulo α con la normal a la superficie incidente (ángulo de incidencia = ángulo de reflexión) (figura 1). A este tipo de reflexión se le conoce con el nombre de reflexión especular.

En el caso de que el ángulo de incidencia sea igual al ángulo de reflexión, la luz de los faros se refleja totalmente en el lado opuesto a los ojos del conductor y,

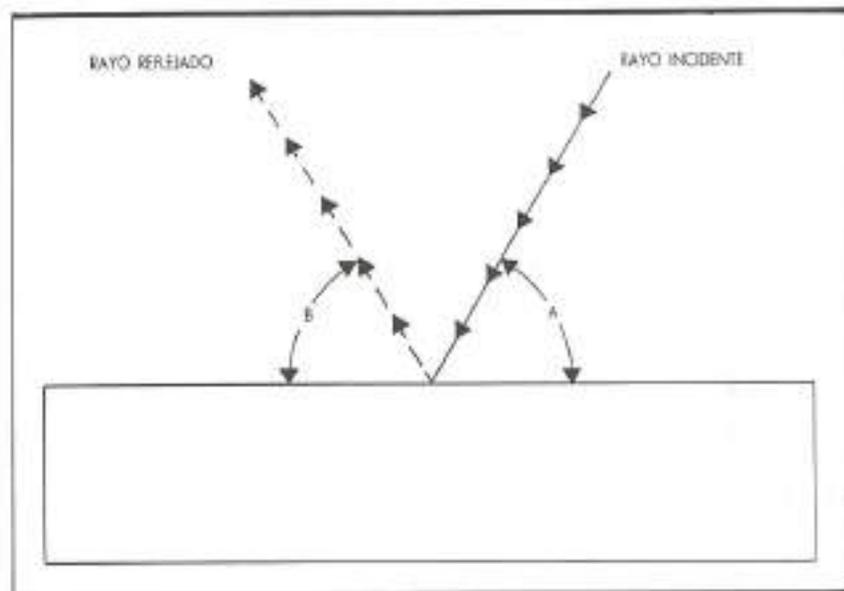


FIGURA 1. Reflexión especular efecto de espejo.

de noche, la carretera aparecerá uniformemente en sombra.

3.2. REFLEXION REGULAR

Se compone solamente de la luz reflejada sin difusión.

3.3. REFLEXION DIFUSA

La reflexión difusa está compuesta por la luz reflejada en otras direcciones diferentes a la dirección especular.

3.4. REFLEXION TOTAL

La reflexión total está compuesta de la luz reflejada en todas las direcciones.

Cuando la luz reflejada se distribuye en todas las direcciones, sólo una pequeña parte vuelve al observador.

3.5. REFLEXION DIRECCIONAL

Indica que solamente se incluye en la medida de la luz reflejada en las direcciones específicas de incidencia y de observación.

Los valores direccionales dependen de los ángulos de incidencia y de observación.

4. FENOMENO DE LA RETRORREFLEXION (VISIBILIDAD NOCTURNA)

Cuando un rayo de luz, procedente de los faros de un coche, incide en una microesfera de vidrio perfecta, parcialmente engarzada en pintura pigmentada, una parte de la luz que penetra en la microesfera sufre una desviación en el interior de la microesfera como consecuencia del fenómeno de refracción. Esta desviación en el interior de la microesfera depende del índice de refracción del vidrio de la misma. Los rayos refractados en el interior de la microesfera se concentra en su faz interior. Como esta parte de la microesfera está sumergida en la pintura, la interfaz de la microesfera de vidrio/pintura pigmentada actúa como un espejo y el rayo luminoso es reflejado desde esta interfaz. Este rayo luminoso reflejado al atravesar la superficie de separación esfera-aire, vuelve a sufrir refracción (al pasar de un medio a otro con diferente índice de refracción), si-

guiendo un camino de vuelta paralelo al rayo procedente de los faros del coche (figuras 2 y 3).

Para conseguir este efecto es necesario que las microesferas de vidrio sean perfectamente esféricas. En el caso en que no sean perfectamente esféricas se produce una reflexión anárquica, tanto especular como difusa, y el resultado es que de un rayo incidente se producen dos rayos reflejados, y ninguno de estos dos rayos reflejados es paralelo al rayo incidente, no produciéndose el fenómeno de la retrorreflexión (figuras 2 y 3).

5. FACTORES QUE AFECTAN AL FENOMENO DE LA RETRORREFLEXION

La intensidad de la retrorreflexión y, por tanto, de la visibilidad nocturna de las marcas viales, está en función de una serie de parámetros:

5.1. LA ESFERICIDAD DE LAS MICROESFERAS DE VIDRIO

Este hecho ya ha sido justificado y explicado anteriormente, pues como ya se ha dicho, cuando un rayo de luz incide sobre una microesfera que no es perfectamente esférica no se produce el fenómeno de la retrorreflexión (figura 4).

5.2. EL INDICE DE REFRACCION

La proporción de luz reflejada-incidente de la interfaz microesfera-pintura está en función de la diferencia de índice de refracción de los dos materiales.

En España se recomienda, según el artículo 289 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (PG-3), que el vidrio de la microesfera sea lo más incoloro posible y que su índice de refracción no sea inferior a 1,50. No obstante, no es necesario emplear microesferas de vidrio de alto índice de refracción, ya que la mejora en la retrorreflexión no compensa el precio tan elevado que ello supone. Así como la fragilidad de las mismas al compararlas con las de índice de refracción de 1,5.

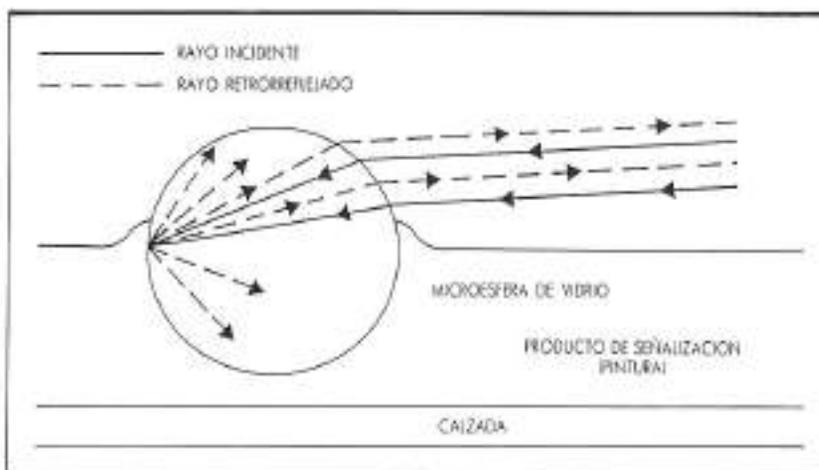


FIGURA 2. Fenómeno de retrorreflexión en una microesfera de vidrio perfecta. Fenómeno de ida y vuelta de un rayo luminoso que sigue dos trayectorias paralelas.

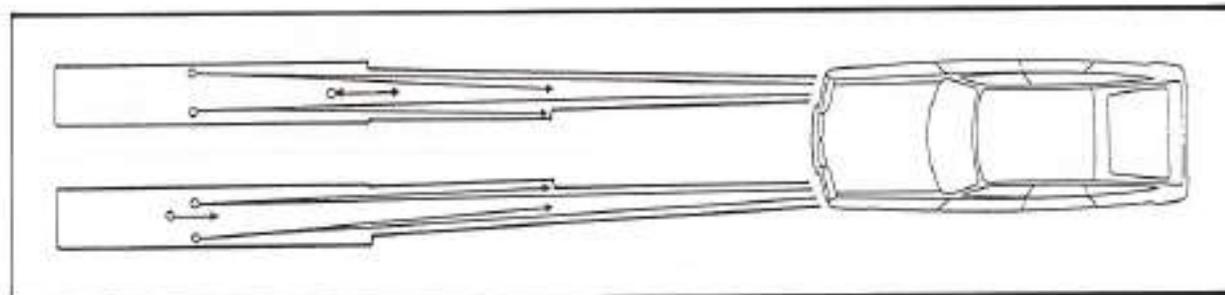


FIGURA 3. Fenómeno de retroreflexión que afecta al usuario del vehículo en la carretera.

5.3. EL HUNDIMIENTO DE LAS MICROESFERAS EN LA PINTURA

Las propiedades ópticas y la retención de las esferas en la pintura es óptima cuando el 60 % de su diámetro está cubierto por la pintura que define la marca vial. Lógicamente, esto depende de la cantidad de microesferas por metro cuadrado y por la cantidad de pintura por metro cuadrado (espesor de la película húmeda de pintura).

En España se recomienda una dosificación tal que la retroreflexión sea aceptable. Dicha dosificación es de 720 g/m² para la pintura y de 480 g/m² para las microesferas, contando, por supuesto, con que la calidad de la pintura y la de las microesferas sea buena.

5.4. GRANULOMETRÍA DE LAS MICROESFERAS

En la fabricación de las microesferas de vidrio se obtiene una mezcla de microesferas de diferentes tamaños. Esta granulometría no es del todo negativa en lo que afecta a la retroreflexión, ya que si todas las microesferas son demasiado pequeñas, éstas quedarían sumergidas en la pintura, no teniendo lugar el fenómeno de retroreflexión, pero si son demasiado grandes desaparecerían fácilmente debido a la acción de abrasión de los neumáticos de los coches.

Así, en el momento de la aplicación solamente se verán aquellas esferas que sean más grandes que la película de pintura, pero al cabo del tiempo estas esferas habrán desaparecido y quedarán las microesferas más pequeñas, pues la película de pintura habrá ido disminuyendo debido al desgaste producido por el tráfico.

6. CONDICIONES FOTOMETRICAS

Para la determinación del coeficiente de retroreflexión de las marcas viales, existen en el mercado diferentes aparatos que dan directamente este valor, en mcd/(lx · m²).

Como ya se ha comentado en otros trabajos (1), esta medida se ha de hacer de tal forma que simule lo más posible la realidad.

Actualmente, los retroreflectómetros empleados para las marcas viales son bastante sencillos de emplear. Normalmente, poseen tres puntos de apoyo que aseguran la geometría prevista para la medición. Es necesario cuidar que los tres puntos de apoyo se asienten perfectamente sobre la superficie que debe medirse.

Una vez que el aparato esté bien colocado sobre la marca vial de la calzada y se ha comprobado su correcto

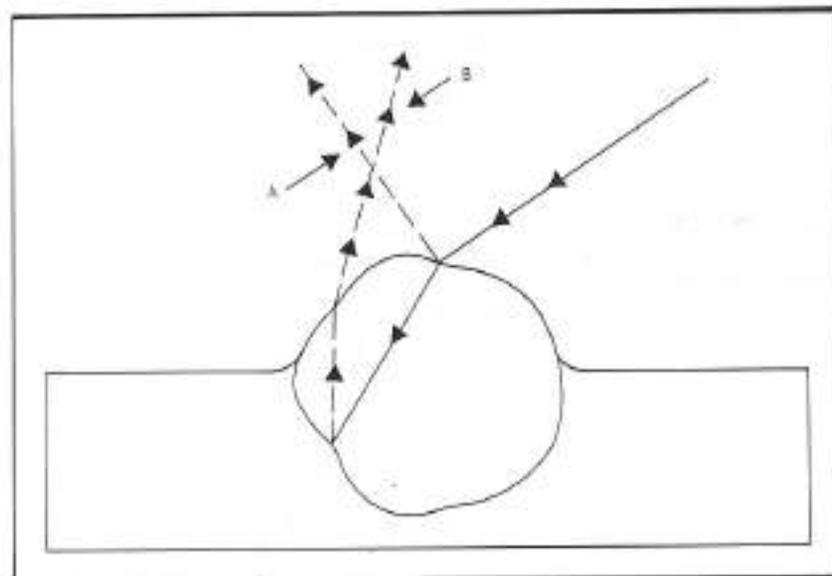


FIGURA 4. Incidencia de un rayo luminoso en una microesfera que no es perfectamente esférica.

asiento, puede procederse a la medida previo calibrado del mismo.

Se ha aceptado las siguientes condiciones de geometría de medida en estos retrorreflectómetros:

- Angulo de incidencia: 86,5°.
- Angulo de divergencia: 1,5°.

La fuente de iluminación es del tipo CIE A, con objeto de conservar la sensibilidad de esta fuente, es necesario que el instrumento no sea transportado o colocado sobre la carretera con la lámpara encendida. Normalmente, el periodo de iluminación de la lámpara es aproximadamente de 10 segundos.

En España, actualmente se exige un valor mínimo para el coeficiente de retrorreflexión:

- 300 $\text{med/lx} \cdot \text{m}^2$ dentro de los 15 días de la aplicación.
- 150 $\text{med/lx} \cdot \text{m}^2$ durante la vida útil de la marca vial.

7. PARTE EXPERIMENTAL

7.1. MATERIALES

Se ha hecho uso de una pintura convencional, del tipo acídica modificada con clorocaucho, normalmente utilizada para pavimentos bituminosos.

Esta pintura con microesferas de vidrio se ha aplicado en diversos tramos de carreteras nacionales, tanto en banda como en eje, con una dosificación de 720 g/m^2 de pintura líquida y de 480 g/m^2 de microesferas de vidrio. Estos valores se han determinado con muestras tomadas en el momento de la aplicación. Asimismo se han determinado las características fundamentales de la pintura líquida, con los materiales recogidos directamente de la máquina pintabandas, y cuyos valores figuran en la tabla I.

7.2. Aparatos

Las medidas del coeficiente de retrorreflexión (visibilidad nocturna) se han realizado con un retrorreflectómetro ZRM-1012, con las siguientes condiciones geométricas: ángulo de incidencia de 86,5° y ángulo de divergencia de 1,5°, empleando una fuente de iluminación del tipo CIE A (2 y 3).

7.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados que se muestran en la tabla II han sido determinados en los primeros quince días de la aplica-

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS
CONSISTENCIA KREBS-STORMER A 25 °C Y 200 rpm	
— GRAMOS	225
— UNIDADES KREBS	86
MATERIA FIJA % EN PESO DE PINTURA	75,1
DENSIDAD RELATIVA (25 °C/25 °C)	1,5

TABLA I. Características de la pintura líquida recogida directamente de la máquina pintabandas.

MUESTRA	COEFICIENTE DE AUTORREFLEXION ($\text{med/lx} \cdot \text{m}^2$)	
	DENTRO DE LOS 15 PRIMEROS DÍAS	DESPUES DE 1 AÑO
1	629	204
2	586	285
3	531	276
4	310	100
5	612	344
6	518	169
7	430	194
8	375	153
9	416	145
10	352	175
11	370	175
12	534	358
13	439	272
14	381	272
15	335	220
16	329	269
17	341	262
18	438	358
19	457	323
20	326	316

TABLA II. Valores del coeficiente de retrorreflexión obtenidos dentro de los 15 primeros días de su aplicación y después de 1 año.

ción y al cabo del año de la puesta en obra, con el fin de comprobar el efecto del tráfico rodado, así como los factores ambientales que inciden notablemente en la durabilidad de la marca vial.

En la tabla últimamente mencionada los diez primeros valores que aparecen en la misma corresponden a marcas viales situadas en el eje de la calzada, y el resto a bandas laterales.

Todos los valores determinados originalmente cumplen los requerimientos exigidos en la legislación vigente ($\geq 300 \text{ med/lx} \cdot \text{m}^2$); sin embargo, transcurrido un año desde el momento de su aplicación, en dos casos no se llega a alcanzar el valor mínimo exigido ($\geq 150 \text{ med/lx} \cdot \text{m}^2$).

Conviene observar la pérdida de retrorreflexión en la mayoría de las medidas realizadas. Cabe destacar la gran caída en los valores de retrorreflexión en el eje, posiblemente debida a la desaparición de microesferas como consecuencia de los adelantamientos de los vehículos en la carretera, ya que el eje está sometido a una mayor abrasión que las bandas laterales.

BIBLIOGRAFIA

1. CASTILLO, F., y BLANCO, M. «Importancia de la retrorreflexión en la seguridad vial. I. Visibilidad nocturna en la señalización vertical». *Ingeniería Civil*, vol. 77, págs. 8-10 (1990).
2. CASTILLO, F., y BLANCO, M. (1990). «Problemática de la determinación del color en materiales retrorreflectantes». *Ver y Oír*, vol. 47, pág. 29-40.
3. CASTILLO, F., y BLANCO, M. «Importancia de la medida del color en la seguridad vial». *Ingeniería Civil*, vol. 76, págs. 99-110 (1990).

Seibulite España, s.a.

LAMINAS REFLECTANTES SEIBULITE®

- * PARA SEÑALES DE TRAFICO EN CARRETERAS Y AUTOPISTAS
- * PARA CARTELES INDICADORES DE AVISO E INFORMACION
- * PARA MATRICULAS DE AUTOMOVIL-MOTOS-TRACTORES



LA TECNOLOGIA JAPONESA ESTA
PRESENTE EN ESPAÑA CONTRIBUYENDO
A AUMENTAR LA SEGURIDAD VIAL

Desde hace diez años, se están utilizando en España las láminas reflectantes **SEIBULITE** sin un solo problema de calidad. Actualmente, son distribuidas directamente por **SEIBULITE ESPAÑA, S.A.** Los fabricantes de señales de tráfico y de matrículas conocen las cualidades de los productos **SEIBULITE**

Para cualquier información, no duden en dirigirse a nosotros y serán atendidos con el mayor agrado.

Seibulite España, s.a.

Concilio de Trento, 273-275

08020 - BARCELONA

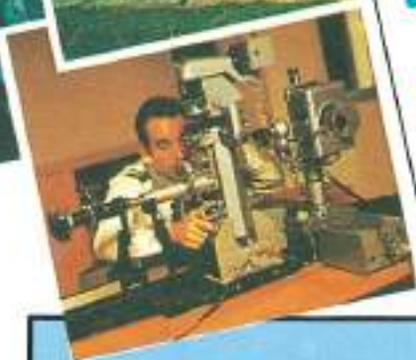
TEL. 313 99 08

FAX. 313 92 75

**GEOLOGIA, GEOTECNIA, CONTROL DE OBRA,
CONTROL MEDIO AMBIENTAL Y LABORATORIOS.**

**FABRICACION DE: ADITIVOS PARA MOLIENDA DE
CEMENTO Y PARA HORMIGON, CEMENTO ROMPEDOR
DE ALTA SEGURIDAD** (silencioso, no explosivo).

PROYECTOS, ESTUDIOS, ANALISIS Y ENSAYOS



- Localización y estudios de yacimientos.
- Sondeos y ensayos de campo
- Ensayos de identificación
- Ensayos mecánicos
- Ensayos de control y caracterización
- Descripción geológica
- Características Geotécnicas
- Análisis y caracterización de minerales y concentrados.
- Análisis de carbones.



Compañía Internacional de Investigación y Ensayos, S.A.

Carretera Madrid-Toledo, Km. 50 (desvío de Cabañas de la Sagra). 45520 Villaluenga de la Sagra (Toledo).
Tels. (925) 53 03 00 - 53 06 12 - 53 03 09. Fax. (925) 53 11 36 • Azorín, 2. 13170 Miguelturra (Ciudad Real). Tel. (926) 22 98 36

LABORATORIO ACREDITADO POR EL MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA PARA LOS ENSAYOS DE YESOS, CEMENTOS Y SUS PREFABRICADOS • LABORATORIO HOMOLOGADO POR EL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO EN LAS CLASES A (HORMIGONES) y C (SUELOS) • LABORATORIO ACREDITADO POR LA RED ESPAÑOLA DE LABORATORIOS DE ENSAYO • EMPRESA COLABORADORA DE LA ADMINISTRACION (ECA) EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE.