

Influencia del abrasivo en el ensayo de desgaste de baldosas

Pág. 66 -79

Carlos Ríos T.

Ingeniero Civil.. Laboratorio de Resistencia de Materiales, Departamento de Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 6177, Santiago, Chile.

Carlos Videla C.

Profesor del Departamento de Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 6177, Santiago, Chile.

RESUMEN el objetivo de este estudio es establecer correlaciones entre los resultados del ensayo de desgaste de baldosas, cuando se utilizan abrasivos distintos al normalizado; para tal efecto se ensayaron diferentes tipos de baldosas con tres tipos de abrasivos. Se establecen correlaciones preliminares entre los resultados obtenidos con el abrasivo indicado en la norma chilena correspondiente y los obtenidos con otros tipos de abrasivos más fáciles de conseguir en el mercado nacional. Se concluye que es posible cambiar el abrasivo indicado en la norma NCh 187.0f 58 por otro de más fácil adquisición; en tal caso se hace necesario una revisión de esta norma en el sentido de caracterizar totalmente las propiedades físicas del abrasivo que se emplee y estudiar la modificación de los requisitos exigidos.

I. INTRODUCCION

1.1 Planteamiento del problema

Cuando se compara el procedimiento de ensayo de desgaste de baldosas utilizado por las distintas instituciones que lo realizan, se descubre que ha existido cierta anarquía en cuanto a su ejecución, fundamentalmente en lo que respecta al tipo de material abrasivo empleado. La causa principal de este desorden se encuentra en la dificultad de encontrar en el mercado nacional el abrasivo normalizado (1). Es así como durante muchos años en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Departamento de Ingeniería de Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (RESMAT) (2), se utilizó carborundum como abrasivo. El Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales de la Universidad de Chile (IDIEM), por su parte, sigue utilizando arena de San Sebastián en sus ensayos.

Los resultados de los ensayos así realizados, no son directamente comparables con las exigencias indicadas en la norma chilena (3), lo que puede inducir a errores a los usuarios.

1.2 Objetivo

El objetivo de este estudio es establecer correlaciones entre los resultados de los ensayos de desgaste de baldosas, cuando se utilizan tres tipos de abrasivos distintos: el que indica la norma chilena (granate calcinado del tipo Almandino), el utilizado hasta el año 1985 en el Laboratorio Resmat (2) (carborundum) y el que se usa actualmente en el Idiem (arena de San Sebastián). Esto permitiría relacionar resultados de desgaste obtenidos con distintos abrasivos y proponer una posible modificación de la actual norma chilena, en lo que respecta al abrasivo especificado para el ensayo de desgaste y de los requisitos que deben cumplir las baldosas.

II. NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO EXISTENTES

Actualmente, los ensayos que se deben realizar a las baldosas de mortero de cemento se encuentran especificados en la norma chilena NCh 187 .Of 58 (1) y los requisitos que deben cumplir en la norma NCh 183 Of 58 (3). Ambas normas se basan en documentos emitidos por distintos países; entre éstos se destaca la influencia de las normas españolas UNE 7015 y UNE 7034 (citadas en NCh 183 Of 58) y UNE 41008 (4). De los documentos antes mencionados, en Chile sólo se encuentra la norma española UNE 41008 (4), la que en su parte pertinente, especifica la pérdida de altura máxima permitida que podrá tener una baldosa una vez que ha sido sometida al ensayo de desgaste establecido en la norma UNE 7015.

La norma NCh 187 Of 58 (1) establece el siguiente procedimiento de ensayo de desgaste de baldosas :

-Las probetas que se utilizan se cortan del centro de la baldosa y tienen una superficie de aproximadamente 40 cm². Las baldosas han sido previamente secadas durante 24 horas a una temperatura de 110°C.

-La máquina de ensayo está constituida por un disco horizontal pulido de fierro fundido, que gira en torno a un eje vertical a una velocidad de 30 **rpm** y con una tolerancia de ± 1 **rpm**. El disco se detiene en forma automática una vez que ha realizado 55 vueltas.

-La probeta es colocada en un sujetador, el que hace que la muestra gire lentamente durante el ensayo. Sobre la probeta se ejerce una presión de 0,6 kg/cm².

- El material abrasivo empleado es granate calcinado del tipo Almandino, cuya graduación debe estar comprendida entre los tamices de 0,21 mm y 0,25 mm. Antes de iniciar el ensayo se reparten uniformemente sobre el disco pulidor 20 g de este material.

- Después de cuatro períodos sucesivos de 55 revoluciones cada uno, se determina la pérdida de peso de las probetas ensayadas, con aproximación de 0,5 g.

Esta norma establece, además del ensayo de desgaste, los ensayos de resistencia al choque, flexión y compresión. En este trabajo sólo se considera el estudio del ensayo de desgaste.

Por otra parte, la norma NCh 183 (3) establece las condiciones que deben cumplir las baldosas de mortero de cemento destinadas a la pavimentación de suelos, las que se clasifican en los tipos A y B, dependiendo de su resistencia. Esta norma establece los requisitos que deben cumplir las baldosas en lo que se refiere a resistencia al desgaste, indicados en la tabla N°1.

Tabla N° 1 Requisitos de desgaste de baldosas según NCh 183. Of 58(3)

Baldosa tipo	Promedio (g/cm ²)	Máximo Individual (g/cm ²)
A	0,36	0,46
B	0,47	0,58

Por su parte, el Instituto de Investigaciones y Ensayes de Materiales de la Universidad de Chile-IDIEM (5), establece un procedimiento de ensayo de desgaste distinto al indicado en la norma chilena. Las diferencias más importantes en el ensayo son el tipo de abrasivo empleado, la máquina utilizada y la carga sobre la probeta. Idiem utiliza arena de San Sebastián en lugar de granate calcinado del tipo Almandino, una máquina de accionamiento manual en lugar de automático y una carga sobre la probeta de 0,1 kgf/cm² en lugar de 0,6 kgf/cm². Las exigencias sugeridas por este Instituto son establecidas a partir de los resultados históricos obtenidos con este ensayo, las que se indican en la tabla N°2.

Tabla N°2 Requisitos de desgaste según Idiem (5)

Clasificación	Desgaste (g/cm ²)
Buenas	menos de 0,25
Regulares	0,25 a 0,30
Malas	más de 0,30

Finalmente, el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Pontificia Universidad Católica de Chile - RESMAT, utiliza básicamente el procedimiento de ensayo especificado por la norma chilena (1), con excepción de que la máquina de ensayo no cuenta con el dispositivo que hace girar automáticamente la muestra durante el ensayo; ésta se hace girar manualmente en 90°, después de cada período de giro de 55 revoluciones. Además, hasta el año 1985 RESMAT usó carborundum como abrasivo (2), debido a la dificultad de adquirir granate calcinado del tipo Almandino en el mercado nacional. En la actualidad utiliza el abrasivo normalizado para sus ensayos.

III. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Los aspectos más importantes que se han considerado para el diseño de este experimento, de acuerdo con referencia (6), son:

3.1 Definición de la variable dependiente

Para este experimento se consideró que la variable dependiente es el grado de desgaste sufrido por las baldosas, medido de acuerdo al procedimiento de ensayo utilizado por RESMAT (descrito en la sección II de este trabajo).

3.2 Definición de factores y niveles y del espacio de inferencia

Debido a que el objetivo primordial de esta investigación fue analizar el efecto del tipo de abrasivo en el grado de desgaste de baldosas, se seleccionaron los siguientes tres tipos de abrasivos, que son los de uso corriente en el país:

A = Granate calcinado del tipo Almandino, abrasivo normalizado, cuya graduación debe estar comprendida entre los tamices de 0,21 mm y 0,25 mm (1).

B = Carborundum, este abrasivo era empleado normalmente en los ensayos de desgaste realizados por Resmat hasta el año 1985 (2).

C = Arena de San Sebastián, abrasivo empleado en los ensayos realizados por IDIEM, con una granulometría comprendida entre las mallas N° 50 y N° 100 ASTM (5).

Además, y para aumentar el espacio de inferencia de las conclusiones a obtener, se consideró el tipo de baldosa como otra variable independiente del experimento. Para tal efecto se ensayaron las siguientes seis muestras que cubren parcialmente el mercado nacional:

- Muestra N° 1: Lisa roja.
- Muestra N° 2: En relieve gris.
- Muestra N° 3: En relieve roja.
- Muestra N° 4: Granito - microvibrada.
- Muestra N° 5: Granito - microvibrada.
- Muestra N° 6: Granito gris - microvibrada.

En la Fig. N°1 se muestra el factorial que representa gráficamente este experimento.

3.3 Definición de la cantidad de réplicas

Para poder predecir el error del ensayo se realizó una réplica por cada condición baldosa-abrasivo, de modo de tener dos datos en cada celda del factorial, y en tal forma se obtuvo un diseño balanceado del experimento.

3.4 Definición de toma de datos y su metodología de análisis

Para tener un diseño de experimento aleatorio, la secuencia de ejecución del ensayo de cada condición baldosa-abrasivo fue realizada al azar. Por lo tanto, el análisis de varianza considera el siguiente modelo.

$$D_{ijk} = \mu + A_i + B_j + A * B_{ij} + \varepsilon_{(ijk)} \quad (1)$$

Con: $i = 1, 2, 3$; $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$; $k = 1$ y 2

Donde : D_{ijk} = grado de desgaste de la baldosa "j", para el tipo de abrasivo i

y el número de repetición "k".

μ = promedio general del grado de desgaste.

A_i = efecto del tipo de abrasivo "i".

B_j = efecto del tipo de baldosa "j".

$A*B_{ij}$ = efecto de la interacción del tipo de abrasivo "i" y la baldosa "j".

$\epsilon_{(ij)k}$ = error aleatorio de la probeta número "k", para el tipo de abrasivo "i" y la baldosa "j".

Para el análisis de los datos se considerará un 90% de confianza, lo que implica un 10% de error tipo I(α) (7).

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

El grado de desgaste se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$D_G = (P_1 - P_2)/s \quad (2)$$

donde :

- D_G = Grado de desgaste en g/cm^2
- P_1 = Peso inicial de la muestra en g.
- P_2 = Peso final de la muestra en g.
- s = Superficie de la probeta en cm^2

En la tabla N° 3 se presentan los resultados obtenidos para las diferentes muestras y con los distintos tipos de abrasivos utilizados y en la figura N°2 se muestra una representación gráfica de éstos.

Tabla N°3 Resultados experimentales del grado de desgaste (g/cm²)

Factor 2: Tipo de baldoso Muestra N°	Factor 1 : Tipo de abrasivo		
	A Granate	B Carborundum	C Arena Sn. Sebastián
1 Lisa roja	0,25	0,39	0,11
	0,31	0,57	0,12
Promedio	0,28	0,48	0,12
Desv. Estándar	0,04	0,13	0,01
Coef. Variación (%)	15,15	26,52	6,15
2 En relieve gris	0,23	0,43	0,12
	0,26	0,45	0,16
Promedio	0,25	0,44	0,14
Desv. Estándar	0,02	0,01	0,03
Coef Variación (%)	8,66	3,21	20,20
3 En relieve roja	0,29	0,47	0,17
	0,30	0,80*	0,17
Promedio	0,30	0,47	0,17
Desv. Estándar	0,01	-	0
Coef Variación (%)	2,40	-	0
4 Granito	0,25	0,42	0,14
microvibrada	0,27	0,46	0,16
Promedio	0,26	0,44	0,15
Desv. Estándar	0,01	0,03	0,01
Coef .Variación (%)	5,44	6,43	9,43
5 Granito	0,32	0,53	0,12
microvibrada	0,32	0,57	0,15
Promedio	0,32	0,55	0,14
Desvistan dar	0	0,03	0,02
Coef .Variación (%)	0	5,14	15,71
6 Granito gris	0,38	0,57	0,17
microvibrada	0,43	0,58	0,22
Promedio	0,41	0,58	0,20
Desv. Estándar	0,04	0,01	0,04
Coef Variación (%)	8,73	1,23	18,13

* La probeta se rompió durante el ensayo y no se considera en el promedio.

V. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

5.1 Análisis de varianza (ANOVA)

En base al modelo de análisis descrito en la sección 3.4 se analizaron los datos medidos en el programa experimental. Se utilizó el paquete estadístico Stat Works (8), obteniéndose el análisis de varianza (ANOVA) indicado en la tabla N°4.

Tabla N°4 Resultados del Análisis de Varianza (ANOVA)

Fuente	Suma cuadrados (SS)	Grados de libertad (DF)	Promedio de cuadrados (MS)	Razón- F	Prob>F	Significancia al $\alpha= 10\%$
Entre baldosas	0,057	5	0,011	8.302	0,112 >0,10	NO
Entre abrasivos	0,704	2	0,352	258.045	0,000 <0,10	SI
Interacción(*)	0,017	10	0,002	1235	0,334 >0,10	NO
Error (ϵ)	0,025	18	0,001			
TOTAL	0,802	35				

De esta tabla se desprenden las siguientes conclusiones:

- a) Al 90% de confianza, sólo el abrasivo es significativo en la explicación de la variación del grado de desgaste de baldosas.
- b) Para la muestra ensayada y al 90% de confianza, el tipo de baldosa no es significativo en la explicación de la variación del grado de desgaste de baldosas.

5.2 Análisis comparativo de los abrasivos

Dado que del análisis de varianza se concluye que para el espacio de inferencia del tipo de baldosas estudiadas no existe una significación estadística de esta variable, se analiza con mayor detalle la relación entre los abrasivos utilizados.

En la tabla N°5 se resumen los datos estadísticos y en la figura se grafican los resultados del programa experimental, según el tipo de abrasivo utilizado.

Tabla N°5 Resultados estadísticos según tipo de abrasivo utilizado

	A=Granate	Tipo de abrasivo B=Carborundum	C=Arena Sn.Sebastián
n=Número de datos	12	12	12
Dg=Grado (te desgaste promedio total (g/cm ²))	0,30	0,49	0,15
S=Desviación estándar (g/cm ²)	0,0578	0,0678	0,0312
Y=Coefficiente de variación (%)	19,2	13,8	20,7

De esta tabla y de la figura N°2 se concluye que:

- el uso de granate calcinado entrega un valor de grado de desgaste menor que con carborundum.
- el ensayo utilizando granate entrega un valor de grado de desgaste mayor que con arena de San Sebastián.
- el grado de desgaste medido con carborundum es mayor que con arena de San Sebastián.
- los coeficientes de variación obtenidos utilizando granate calcinado o arena de San Sebastián son similares, y es mínimo cuando se usa carborundum.

los resultados de las muestras ensayadas con arena de San Sebastián, no siguen la misma tendencia que los obtenidos para las muestras ensayadas con el abrasivo estandarizado. Por el contrario, con el uso de carborundum se obtienen resultados con tendencias similares entre muestras comparativas (ver figure N°2). Esto se observe, cuantitativamente, en los coeficientes de correlación obtenidos entre los ensayos realizados con granate calcinado y los otros dos abrasivos (ver sección 5.3).

5.3 Correlaciones entre los grados de desgaste promedio obtenidos con distintos abrasivos.

Mediante un análisis de regresión lineal, se estudiaron las correlaciones existentes entre el grado de desgaste promedio medido con granate calcinado (variable dependiente) y los obtenidos con el uso de

abrasivos distintos el normalizado (variable independiente). En la tabla N°6 y en la figura se presentan los resultados de este análisis, en que:

$$D_G \text{ granate} = a \cdot D_{Gi} + b \quad (3)$$

Con $D_G \text{ granate}$ = grado de desgaste promedio determinado con granate calcinado como abrasivo.
 D_{Gi} = grado de desgaste promedio determinado con abrasivo tipo i.
 a, b = constantes

Tabla N°6 Resultados del análisis de regresión lineal

Factor	Abrasivo tipo	
	Carborundum	Arena de San Sebastián
a	0,931	1,403
b (g/cm ²)	-0,158	0,089
coeficiente de correlación	0,926	0,689

De esta tabla, se observa que la correlación obtenida con carborundum es significativamente mejor que la obtenida con arena de San Sebastián.

5.4 Razón entre los resultados de desgaste promedio obtenidos en los ensayos con los abrasivos no normalizados y con granate calcinado.

En la tabla N°7 se analiza el comportamiento estadístico del cociente entre el grado de desgaste promedio obtenido con los abrasivos no normalizados y con granate calcinado del tipo Almandino. Estos resultados se grafican en la figura N°4.

Tabla N°7 Razón del grado de desgaste

Abrasivo	Razón grado desgaste R_d	Rango r	Desviación estándar s	Coefficiente de variación v
Granate	1	—	0	0
Carborundum	1,656	1,420-1,796	0,133	8,0
Arena de San Sebastián	0,506	0,411-0,577	0,079	15,5

Se observa que, porcentualmente, el coeficiente de variación de la razón del grado de desgaste obtenida con carborundum es menor que la obtenida con arena de San Sebastián, esto se podría deber a cierta heterogeneidad natural de este último material.

VI. CONCLUSIONES

El abrasivo indicado en la norma, granate calcinado del tipo Almandino, es de difícil adquisición en el mercado nacional y los resultados de ensayos se pueden correlacionar en forma adecuada con los obtenidos con otros tipos de abrasivos y, en especial, con carborundum. Por lo tanto, resultaría aconsejable modificar la norma chilena en lo que respecta a este punto. Sin embargo, es importante y muy necesario incluir en dicha norma una adecuada caracterización de las propiedades físicas del material que se emplee como abrasivo y no tan sólo su granulometría, ya que su tenacidad y correspondiente poder abrasivo pueden cambiar fundamentalmente dentro de un mismo material.

A la luz de los resultados obtenidos, se sugiere realizar posteriormente un estudio que analice el ensayo de desgaste de baldosas utilizando sólo carborundum y usando como variable independiente las características físicas de éste.

Es necesario destacar que la modificación del tipo de abrasivo a utilizar, implica la modificación de los requisitos de desgaste que se deben exigir

REFERENCIAS

1. INN, "Ensayos de Baldosas de Mortero de Cemento", NCh 187. Of 58, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, 1958.
2. DICTUC, "Anales de certificación del Laboratorio de Resistencia de Materiales", Departamento de Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 1975-1985

3. INN, "Baldosas de Mortero de Cemento", NCh 183 Of 58, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, 1958.
4. Instituto de Racionalización del Trabajo, "Baldosas de Cemento", UNE 41008, Madrid, España.
5. IDIEM, "Certificado de Ensaye de Baldosas N° 164.429 (B. - 84 - N°12)", Instituto de Investigaciones y Ensayes de Materiales, Universidad de Chile, Santiago, 1984.
6. de Solminihac, H.E., Metodología estadística para el estudio y evaluación de aspectos técnicos en la construcción", Revista de Ingeniería de Construcción N°2, marzo 1987, pp. 21-33
7. Kohler, H., Statistics for Business and Economics, Scott, Foresman and Company, Illinois, EE.UU., 1985
8. Rafferty, J. et al, Stat Works, Versión 1, Data Metrics Inc., Heyden and Son, Inc., EE.UU., 1985

FACTOR 1 :		A	B	C
Tipo de Abrasivos		Granate	Carborundum	Arena San Sebastián
FACTOR 2 : Tipo de Baldosa	1	X X	X X	X X
	2	X X	X X	X X
	3	X X	X X	X X
	4	X X	X X	X X
	5	X X	X X	X X
	6	X X	X X	X X

FIGURA N°1 FACTORIAL DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL

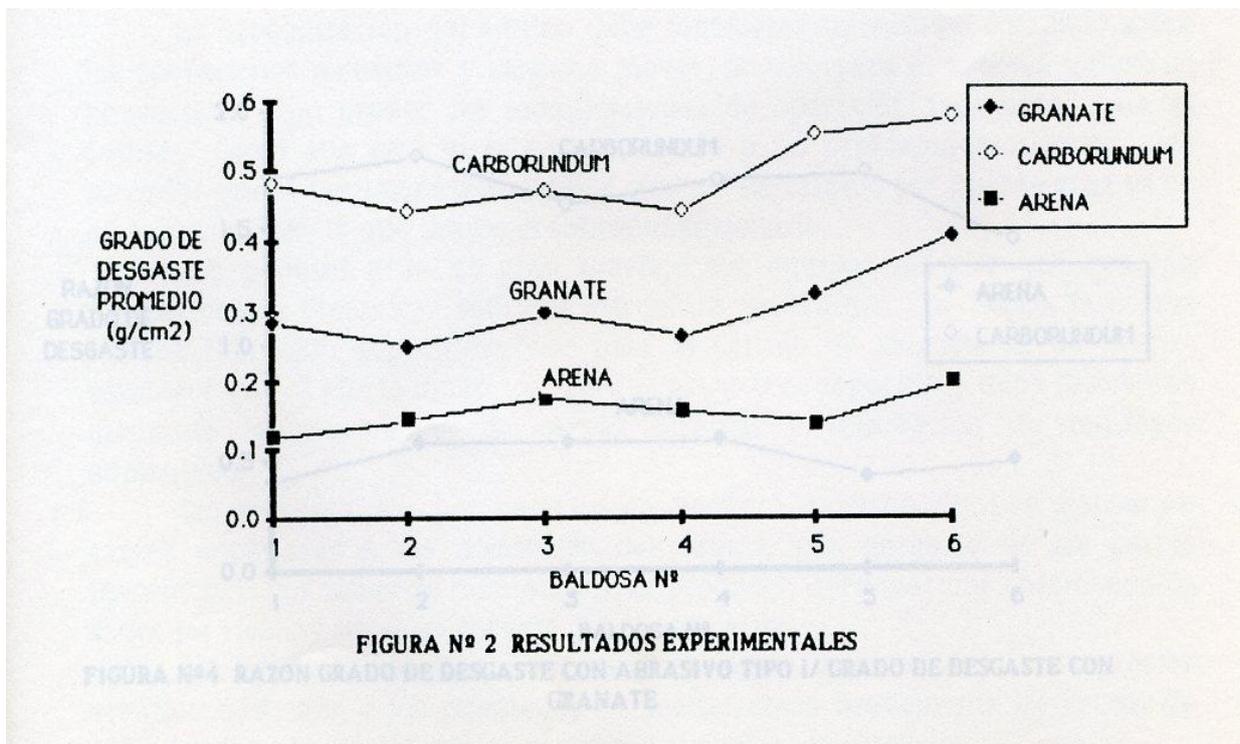


FIGURA N° 2 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Prevención de defectos en puentes grúa

Fernando V. H.

Jefe Departamento Civil, Ingeniería del Esfuerzo Ltda. Casilla 9 - Santiago, Chile.

El alto costo de la inversión inicial y el grado de dependencia que la producción de un puente grúa hacen reflexionar sobre la necesidad de prevenir las causas de falla, prevención de defectos y disposiciones de mantenimiento. El presente artículo aborda algunos de estos aspectos con el interés de alertar a los usuarios sobre la necesidad de profundizar en el estudio de la robustez de los equipos para que la necesidad de seguridad no siempre quede en la realidad.

1. INTRODUCCION

La mayor parte de los puentes grúa se utilizan para el transporte de cargas pesadas de mover grandes pesos en forma reiterada y preestablecida. El sistema más eficiente para lograrlo se basa en puentes grúa de gran luz y alto tonelaje (Fig. 1), que requieren una cuidadosa especificación del equipo y capacidad adecuada de la estructura de soporte.

La especificación del equipo debe considerar un estudio completo sobre las operaciones a realizar y cargas a mover, no sólo para el proceso industrial proyectado sino también para prever las modificaciones de operación requeridas para el futuro. Como ello es directamente un problema económico, vale recordar que un puente grúa es de alto costo inicial, lo que inhibe el sobredimensionarlo.

Los puentes grúa de gran tonelaje son equipos muy complejos que soportan grandes cargas dinámicas sobre la estructura soportante. La norma establecida en el efecto dinámico sobre la estructura soportante debe resolverse mediante la mayoración de las tensiones y minoración de tensiones admisibles.

Sin embargo, sea por defectos de diseño o construcción, por empleo en cargas superiores a las nominales del equipo, por desgaste de las partes mecánicas, o por fallas de mantenimiento, se producen deficiencias permanentes sobre los rieles y vigas de soporte.

En este artículo se presentaremos brevemente las causas de estas fallas, prevención de defectos y recomendaciones de mantenimiento.

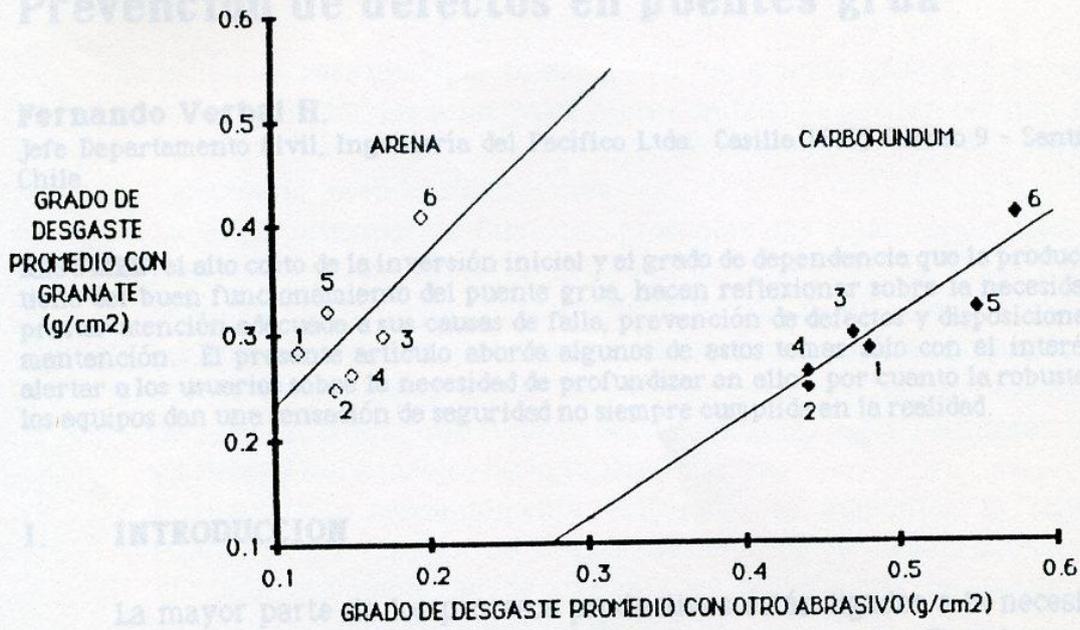


FIGURA Nº 3 CORRELACION DE GRADOS DE DESGASTE PROMEDIO

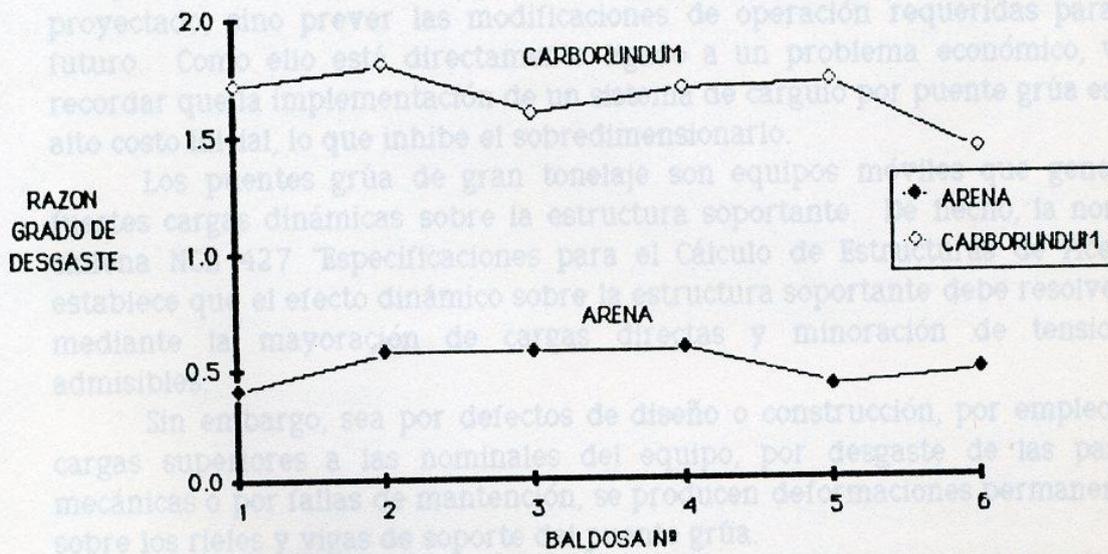


FIGURA Nº 4 RAZON GRADO DE DESGASTE CON ABRASIVO TIPO i/ GRADO DE DESGASTE CON GRANATE