

Aplicación de una nueva metodología para el control de compactación de suelos: Clegg Hammer.

Guillermo Thenoux Z.

Profesor, Departamento de Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile. Casilla 306, Santiago, Chile.

Guillermo Brante

Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Ignacio Carrera Pinto Block 116-D, Depto. 12, Ñuñoa, Santiago, Chile.

RESUMEN: El presente trabajo analiza las aplicaciones de un nuevo sistema de control de compactación de suelos. El instrumento utilizado es el martillo Clegg, el cual consiste en un martillo de compactación de 4,5 kg de peso, que junto a un tubo guía y a un aparato registrador, permite medir la tasa de desaceleración del rebote del martillo, al impactar un suelo compactado. Este estudio se centró además, en tres objetivos complementarios: (1) análisis de la repetitividad de los resultados, (2) correlación del Valor del Impacto Clegg (V.I.C.) y la Densidad Compactada Seca (D.C.S.) y (3) desarrollo de un método estadístico para el control de compactación en terreno.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra la aplicación de un nuevo sistema de Control de Compactación de una manera rápida y cómoda, con un instrumento de fácil uso y transporte. Este instrumento permite al constructor tomar una rápida decisión para el adecuado aprovechamiento de sus recursos, ganando tiempo y logrando además, mejorar la calidad y homogeneidad del trabajo de compactación.

Este nuevo instrumento corresponde a un equipo desarrollado por el ingeniero B. Clegg en la Universidad de Western, Australia, en 1976 (Clegg; 1976) y consiste básicamente en un martillo de compactación que al dejarlo caer desde una altura determinada, es posible medir la tasa de desaceleración de dicho cuerpo al rebotar en el suelo, mediante un desacelerómetro conectado al martillo. Esta tasa de desaceleración está directamente relacionada a la resistencia del suelo en donde impacta.

Debido a la facilidad de operación de este equipo, a su fácil transporte, como también a la rapidez en la entrega de resultados, es interesante estudiar la relación existente entre el valor de impacto entregado por el martillo Clegg (VIC) y el valor de Densidad Compactada Seca (DCS) de terreno, que es el estimador actualmente usado para verificar el grado de compactación de un suelo. De esta manera se tiene en el Clegg Hammer, un ventajoso sistema para el control de calidad y de la homogeneidad de compactación en terreno.

En la actualidad el sistema más usado para el control de compactación en terreno es el basado en el Cono de Arena. Este sistema resulta ser bastante lento, ya que requiere la determinación de una humedad en terreno antes de poder entregar un dato al constructor que le permita comparar la densidad seca con una densidad máxima obtenida previamente en laboratorio y así contrastarla con la de las especificaciones. Este procedimiento demora generalmente un día. Esta espera hace que se pierda tiempo valioso en el avance de obras de compactación, sin poder tomar la decisión de seguir adelante con ellas. Si el trabajo sigue progresando, antes de que llegue el informe oficial de laboratorio, puede tener la consecuencia de tener que reconstruir los tramos compactados, para el caso de resultados desfavorables.

Otro problema existente, es que el constructor no puede, al ejecutar una obra de densificación, reconocer aquellos lugares más débiles donde sería conveniente continuar con la compactación, hasta alcanzar los valores especificados. Esto puede originar que, aunque la obra sea

Revista Ingeniería de Construcción, N° 10, Enero-Junio 1991

aprobada, el trabajo no será homogéneo, pudiéndose provocar más tarde, deformaciones diferenciales en las capas superiores de una obra vial; por ejemplo, en el caso de una base de un pavimento, se reflejaría en fallas prematuras de la carpeta de rodado.

Por estas razones es necesario un sistema que, con cierto grado de precisión, determine el momento en que el terreno ha alcanzado valores aproximados a los requeridos en las especificaciones. Todo esto, en una forma rápida y sencilla que permita:

- a) Tomar una adecuada decisión para el mejor aprovechamiento de los recursos (uso del compactador y otros equipos de apoyo).
- b) Verificar la variabilidad del trabajo y detectar áreas con defectos puntuales (por ejemplo, sectores de difícil acceso para el compactador).

La aplicación del martillo Clegg, ha sido propuesta por sus fabricantes para usos tales como:

- a) Medidor de la resistencia del suelo, ya sea en lugar de, o ligándolo a, los valores de C.B.R. mediante curvas de correlación obtenidas en laboratorio.
- b) Método de predicción de la densidad, usando curvas de correlación previamente calibradas.
- c) Control de compactación de suelos.

En resumen, el martillo Clegg presenta varias ventajas, siendo las principales las que se indican a continuación:

1. Es de fácil uso y transporte
2. Facilita el control de compactación en terreno
3. Permite verificar y garantizar la homogeneidad de compactación y, como consecuencia, reduce los costos de compactación y mejora la calidad del trabajo
4. Entrega un dato confiable de prediseño, para la toma de decisiones

El estudio que se describe a continuación, determinó que existe una buena correlación entre el V.I.C. y la D.C.S. para todos los suelos estudiados. Los suelos que se estudiaron, corresponden a aquellos de uso más frecuente en la estabilización de bases y sub-bases de pavimentos. El estudio determinó, además, la validez de emplear un sistema estadístico en la determinación de la aceptación o rechazo de extensas áreas compactadas, en vez de basarse únicamente en mediciones aisladas como generalmente se realiza en la práctica.

II. METODOLOGIA EMPLEADA

La metodología empleada consistió en realizar ensayos con el martillo Clegg, en diferentes obras de compactación de suelos, principalmente terraplenes y bases de pavimentos. Las mediciones con el martillo Clegg, se realizaron en los mismos sectores donde se controlaba la densidad del suelo por el método del cono de arena.

2.1 Descripción del Martillo

La versión estándar del aparato Clegg, consta de un martillo de compactación de 4,5 kg (10 lb) de peso, junto con un tubo guía y un aparato registrador electrónico (Figura 1). La tasa de desaceleración de la caída de un peso ajustada con un acelerómetro, desde una cierta altura (45 cm) sobre la superficie del suelo, es medida en unidades de 10 gravedades. La tasa de desaceleración se considera directamente relacionada a una medida de resistencia del material ensayado.

El acelerómetro fijado al martillo, provee una señal inmediatamente posterior al impacto, la cual es transferida por un cable coaxial al medidor para la filtración y amplificación de la señal de tal manera de que ésta pueda ser leída en forma digital.

2.2 Descripción del Trabajo de Terreno

Una vez terminado el control de densidad por medio del ensayo del Cono de Arena, se realizaban 4 mediciones con el martillo Clegg en la superficie del suelo y además se verificaba el valor de impacto del martillo Clegg en el interior del hoyo dejado por el ensayo de cono de arena. Tanto los valores de V.I.C. medidos en la superficie como el obtenido en el interior del hoyo eran registrados en tablas para luego relacionarlos con el valor de densidad controlado.

Se realizaron además, ensayos con martillo Clegg en puntos aleatorios de la obra, de modo de verificar la homogeneidad del trabajo de compactación. Estos puntos se esquematizaron en un croquis de terreno y los valores se registraron en tablas para un posterior análisis estadístico de ellos.

Las muestras extraídas por el ensayo de control de densidades fueron llevadas a laboratorio para poder determinar contenido de humedad, clasificar el material y determinar los valores característicos de Proctor y CBR. La densidad compactada seca se obtuvo como:

$$D.C.S = \frac{D.C.H}{(i - 0.001 * W)}$$

En donde:

D.C.S. : Densidad Compactada Seca en (kg/dm³)
D.C.H. : Densidad Compactada Húmeda en (kg/dm³)
W : Humedad del terreno en (%)

III. ENSAYOS CON EL MARTILLO CLEGG

En cada una de las obras visitadas se realizaron ensayos con el martillo Clegg de manera de poder correlacionar, posteriormente, los valores de V.I.C. con los de D.C.S. obtenidos por el control de terreno.

Este procedimiento fue llevado a cabo en cuatro puntos, cercanos al lugar de extracción de la muestra de densidades. Para realizarlo, se debía limpiar el suelo de material suelto y además verificar que el impacto del martillo no ocurriera directamente sobre una piedra del suelo, ya que cualquiera de estas dos situaciones involucraría un error aleatorio adicional en las mediciones.

Todos aquellos valores V.I.C. que por una u otra razón se alejaron de la tendencia observada de los otros valores correspondientes a una muestra, fueron eliminados repitiendo el ensayo en otro lugar cercano a la posición del muestreo.

En la gran mayoría de las muestras se pudo verificar que el valor V.I.C. superficial representaba el estado de compactación de toda la capa de suelo. Sin embargo, en cierto tipo de suelos, en especial los correspondientes a materiales arcillosos, esto no era cierto. En estos materiales, la compactación generaba una capa muy densa, pero sólo superficial, de aproximadamente 5 cm. Más abajo, el material se encontraba suelto y con muy baja humedad. Este fenómeno pudo deberse a las altas temperaturas de los meses en que fueron hechas las mediciones, lo que provocaba una alta evaporación, impidiendo el adecuado humedecimiento del material por parte de los camiones regadores. En aquellos suelos arcillosos en donde la humedad era bastante homogénea en el espesor de la muestra, el V.I.C. superficial no difería del V.I.C. a 15 cm. de profundidad.

IV. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Correlación de los resultados de terreno obtenidos con el Martillo Clegg y los resultados de D.C.S.

Revista Ingeniería de Construcción, N° 10, Enero-Junio 1991

Las muestras de suelo obtenidas de todas las obras visitadas (aproximadamente 30), se clasificaron de acuerdo al método de Casa Grande (USCS) y al método AASHTO. Estas muestras se reordenaron de acuerdo a dichas clasificaciones y se obtuvieron cuatro tipos de suelos, que corresponden principalmente a aquellos suelos mayormente empleados en estabilización de bases y sub-bases de pavimentos. Estos suelos son:

- Grava pobremente graduada (GP) según clasificación USCS o bien A1-a según clasificación AASHTO.
- Grava bien graduada (GW) según USCS o bien A1-a según AASHTO
- Terreno Arcilloso tipo A6 según AASHTO
- Terreno Limoso tipo A4 según AASHTO

Las tablas 1 a 4 presentan un resumen de los resultados para cada uno de los tipos de suelos identificados.

En la Figura 2, se puede ver la tendencia de las correlaciones para cada uno de los suelos estudiados. Se muestran funciones de tipo logarítmico para los materiales A4, A1-a (GP) y A1-a (GW). En el caso del suelo tipo A6, que presenta una concavidad distinta, la mejor correlación encontrada en el rango de validez estudiado es de tipo polinomial (Nota: Las regresiones de tipo polinomial presentaron una correlación algo mejor que las logarítmicas, sin embargo como fórmula de prediseño es más cómoda una función de tipo logarítmico).

Es posible ver que en todos los terrenos estudiados el gráfico presenta una forma creciente; no obstante el terreno tipo arcilloso presenta una tendencia en su correlación, distinta al resto de los suelos. Una explicación al cambio de concavidad entre el material A6 y el resto de las correlaciones puede ser explicada como sigue.

Si se permite subdividir los suelos en dos grandes categorías, en donde en una predominan las partículas estables de mayor tamaño y equidimensionales y en la otra, aquellos originados como materiales secundarios en donde predominan partículas finas y bidimensionales, se podría pensar que en los primeros, el campo gravitacional sería dominante en comparación con las eventuales fuerzas de atracción entre partículas. En cambio, en los segundos la situación es al revés.

Basado en lo anterior se tiene, entonces, suelos en que su rigidez va a depender de la denominada **compacidad** (alcanzando sus mayores valores con mayores vibraciones). Es decir, que las cargas de corta duración, asociadas al rodillo vibratorio, son suficientes para lograr un acomodo de las partículas en forma gravitacional y así tener una mayor compacidad por densificación.

En el otro caso (suelos finos), la situación es diferente. En ellos la rigidez estará asociada al concepto de **consistencia**, y así para "mejorar" un suelo de grano fino, se deberá aplicar cargas de larga duración. En este caso se está frente al fenómeno de consolidación.

Estas fronteras entre uno y otro caso sólo dependerán de la cantidad de finos y la mayor o menor actividad del fino. Es por esto que, en un suelo fino (tipo A6) con una gran acción de fuerzas de interacción entre partículas, existe un límite para el cual el V.I.C. es menos sensible a los cambios de D.C.S., es decir, hay un nivel de compactación para el cual la respuesta de V.I.C. es menor que si se compara con un suelo fino (tipo A4) con menor acción de fuerza entre partículas y mayor acción del peso.

b) Restricciones y Rangos de Validez:

En general el martillo Clegg presenta una buena respuesta en la mayoría de los suelos estudiados. Sólo en aquellos en que el tamaño de sus partículas era superior a 3" (7.6 cm) se presentaron problemas de medición debido a la alta variabilidad de sus medidas. Esto significa que en

Revista Ingeniería de Construcción, N° 10, Enero-Junio 1991

materiales de tamaño máximo superior a 3", la reproducibilidad del V.I.C. no es adecuada como para entregar un dato de prediseño confiable.

En materiales de grano fino el método funciona muy bien, logrando verificar homogeneidad y controlando el valor de densidad en forma rápida y bastante precisa. Sólo en aquellos suelos extremadamente secos y de tipo arcilloso es conveniente realizar un segundo ensayo de verificación con el martillo Clegg a una profundidad aproximada de 8 cm., que equivale aproximadamente a la mitad del espesor comunmente usado en cada capa a compactar.

Las correlaciones entregadas son particulares para cada tipo de suelo. Además, sólo son válidas en los rangos estudiados. Estos rangos, dependiendo del material, se presentan en la Tabla 5.

V. METODOLOGÍA PARA EL CONTROL ESTADÍSTICO DE OBRAS

Ya se ha mencionado que una de las principales cualidades de Clegg Hammer llevar un autocontrol de densidades, en terreno en forma rápida, con un instrumento muy maniobrable y de fácil uso.

En esta sección se propone una nueva forma de control estadístico ordenado y sistemático que permite decidir si el terreno es aceptado, es decir, cumple con una D.C.S. mínima, o bien es necesario continuar con el trabajo de compactación, pero ahora discriminando en forma bastante acertada cuál es el sector que requiere mayor tratamiento y qué sector está en condiciones de ser controlado ya definitivamente por el laboratorio de la inspección de obra, para ser aprobado. Al efectuar este procedimiento, se logrará aprovechar al máximo los recursos existentes, reducir tiempo y disminuir los costos.

La metodología usada para este análisis estadístico consistió en una toma de datos en forma aleatoria en terreno, mientras el operador de laboratorio controlaba mediante el ensayo de cono de arena la densidad in-situ. Estos puntos ensayados fueron marcados en un croquis de manera de conocer la posición aproximada de cada punto y así poder reconocer los sectores más débiles en lo que a compactación se refiere. Estos valores fueron promediados obteniendo un valor promedio de V.I.C., y su desviación estándar.

Como toda medición basada en un fenómeno físico que es repetido sucesivamente, los valores obtenidos de las mediciones tienden a una distribución de tipo Gaussiana.

Si se permite hacer una analogía con lo que es el control de resistencia en hormigones, será posible proponer una densidad compactada seca característica (D.C.S.k) para un terreno compactado.

Todo esto es posible de plantear si se asume que el terreno presenta características de relativa homogeneidad en su composición y además en su compactación. Esta situación es, hasta ahora, una de las hipótesis del control de compactación, ya que de esa manera es válido rechazar o aprobar un trabajo de mejoramiento, con una o dos muestras representativas elegidas aleatoriamente por el operador.

Con estos supuestos se tendrá un V.I.C.k (Equivalente a una D.C.S.k) o valor de impacto característico en que:

$$V.I.C.k = V.I.C.p - t * S$$

Con:

V.I.C.p = Promedio de los valores obtenidos con el martillo Clegg en los distintos puntos ensayados.

S = Desviación Estándar del conjunto de valores medidos

t = Coeficiente de distribución t-Student, dependiente del porcentaje de fracción defectuosa (F.D.) y del N° de muestras ensayadas.

Posteriormente se reúnen los datos estadísticos de las distintas obras controladas y se calculan los valores de V.I.C. característico para 20% de fracción defectuosa correlacionando finalmente con un valor característico de D.C.S. en base a las curvas de correlación obtenidas para los distintos suelos. Se ha escogido el 20% de fracción defectuosa aceptada empleando un criterio conservador debido a la relativa poca homogeneidad de los suelos.

Revista Ingeniería de Construcción, N° 10, Enero-Junio 1991

En las Figuras 3 y 4 se presenta un resumen de algunos de los resultados obtenidos de obras en donde el número de muestras V.I.C. fue suficiente para producir una curva de distribución estadística. Estas figuras muestran el gráfico de distribución estadístico de resultados y el plano para cada una de las obras consideradas.

Si tomamos como ejemplo la obra "Clínica Las Condes" del día 31 de enero de 1991, que corresponde a la compactación de un suelo tipo GP A1-a, se puede observar que las muestras 3,4,5,12,14,17 y 19 presentan valores de V.I.C. muy por debajo del valor promedio. El croquis de terreno nos muestra que estos puntos están ubicados en la franja central de los datos tomados. Será, por lo tanto, este sector el que se deberá seguir compactando y de esta manera se disminuirá la variabilidad en los valores, aumentándose como consecuencia el V.I.C. característico y por ende la D.C.S. característica.

Con este ejemplo se puede comprobar lo práctico del sistema de control de homogeneidad en un trabajo de compactación, ya que, con algunos datos obtenidos rápidamente en terreno, ha sido posible determinar cual es el área que requiere una mayor compactación y así aprovechar de mejor forma los recursos disponibles.

El valor de D.C.S. característico es el que se propone ahora comparar con el de densidad máximo obtenido con el ensayo Proctor y así verificar los requerimientos de las especificaciones.

Este sistema puede resultar muy beneficioso para el contratista como un medio de autocontrol para mejorar su rendimiento en obra. Además, asegura la calidad de compactación para posteriores controles definitivos externos y el buen funcionamiento del suelo tratado una vez que entre en servicio, si la elección de puntos es aleatoria y abarca todo el terreno a controlar.

Por otro lado, si el valor de D.C.S. controlado se aleja del característico, el constructor tendrá como alternativas continuar el proceso (de compactación de esta manera se mejora la media y por lo tanto aumenta la D.C.S. característica), o bien mejorar al autocontrol en obra de manera de obtener un trabajo más homogéneo, que se reflejará en una menor desviación de los valores de D.C.S. controlados en terreno. Este último sistema resulta ser el más conveniente, ya que implicará un menor costo y mejor aprovechamiento de la maquinaria disponible.

Es así como de los datos obtenidos en terreno, resumidos en la Tabla 5, se observa que en la mayoría de los casos la densidad característica encontrada para un 20% de fracción defectuosa, es menor que las densidades controladas por el laboratorio en terreno, a excepción de los valores 6 y 10 de la Tabla 5, en que la densidad característica resulta ser mayor que la densidad controlada. Aquí es posible que las muestras extraídas por el laboratorio hayan sido tomadas justamente en un área defectuosa, por lo que no serían valores representativos del terreno.

Ahora si se comparan los valores de D.C.S. característica con los valores mínimos requeridos de acuerdo a las especificaciones de cada una de las obras, es posible ver que tanto el valor 1, correspondiente a la muestra 1 de la obra "Doña Leonor", como el valor 5 correspondiente a las muestras 1, 2 y 3 de la obra "Wasil" del día 21 de enero, deberían, de acuerdo a los criterios que se proponen en este trabajo, ser rechazadas y por lo tanto requerir de un trabajo de compactación mayor antes de aprobarlas.

Para el dato 9 de la Tabla 5, no fue posible estimar su densidad característica ya que a este material de la obra "Parques de Tobalaba" no se le determinó los límites de Atterberg, que son necesarios para poder clasificar el suelo y así determinar cual es la correlación a usar en este caso.

En resumen se pueden dar los siguientes casos cuando se emplee el Valor de Impacto Clegg como un método de autocontrol:

Obra aceptada	Se corrobora con el V.I.C. la homogeneidad de la compactación
Obra aceptada	V.I.C. demuestra exceso de compactación en muchos sectores
Obra aceptada	V.I.C. demuestra que en promedio la obra debería ser rechazada.
Obra no aceptada	V.I.C. corrobora resultados de Laboratorio
Obra no aceptada	V.I.C acepta la obra pero reconoce lagunas

VI. CONCLUSIONES

- a) El martillo Clegg puede ser usado adecuadamente para el control de compactación de suelos, ya sea verificando su homogeneidad o estimando el valor de densidad seca mediante el uso de curvas adecuadas de calibración, entregando así un buen dato de prediseño.
- b) Existe una correlación entre la Densidad Compactada Seca (D.C.S.) del terreno, obtenida de la densidad húmeda controlada por los laboratorios de mecánica de suelos, y el Valor de Impacto del martillo Clegg (V.I.C.).
- c) Para cada tipo de suelo existe una determinada correlación y ésta es válida sólo para dicho suelo. Esta correlación tiene un rango de validez bien determinado, que calza con los valores de densidad habituales en suelos compactados para obras de ingeniería.
- d) El martillo Clegg permite controlar la variabilidad de la compactación mediante la dispersión obtenida en ensayos in-situ con el instrumento. Esto está basado en un criterio de aceptación o rechazo de un terreno mejorado, mediante la comparación directa de la densidad característica, obtenida en base a los ensayos y los requerimientos entregados en las especificaciones. La densidad característica se definirá a partir del V.I.C. característico haciendo uso de la curva de calibración adecuada.
- e) El valor obtenido con el Clegg Hammer a nivel superficial es representativo para un cierto espesor de capa de suelo, el cual es variable dependiendo del tipo de suelo. En general, se considera representativo hasta un espesor de 15 cm. aproximadamente.
- f) El método propuesto de aceptación o rechazo de una obra de compactación resulta ser adecuado ya que de esta manera el terreno es aprobado o rechazado no con una sola observación aleatoria, sino que con el estudio de un conjunto de éstas.
- g) El martillo Clegg presenta buenos resultados en suelos cuyo tamaño máximo de partícula es inferior a 3" (7.6 cm), es decir, en la mayoría de los materiales usados en sub-rasantes sub-bases y bases de obras viales.
- h) Para suelos con un tamaño máximo mayor el error aleatorio de las mediciones es extremadamente grande. Esta es la gran restricción de uso del instrumento, por lo que se recomienda seguir cuidadosamente los procedimientos establecidos por el fabricante.

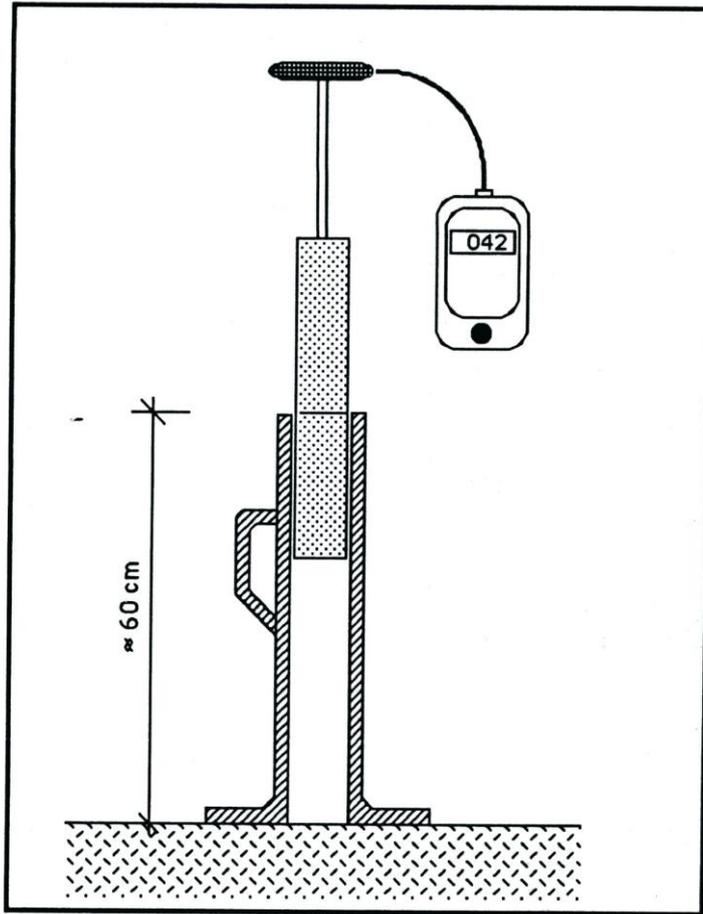


Fig. 1. El martillo Clegg

Tabla 1. Muestras de terreno tipo A1-a (GW)

OBRA	N° Dato	D.C.H. (Kg/dm3)	D.C.S. (Kg/dm3)	Humedad %	V.I.C (promedio)	% Proctor	D. Max. (Kg/dm3)	Humedad Optima(%)
CARABINEROS	1	2.24	2.17	3.00	17	98	2.23	6.4
CARABINEROS	2	2.26	2.18	3.60	18	98	2.23	6.4
CARABINEROS	3	2.28	2.19	4.10	21	98	2.23	6.4
CARABINEROS	4	2.22	2.10	5.60	17	94	2.23	6.4
CARABINEROS	5	2.43	2.28	6.40	30	102	2.23	6.4
LAS TURBINAS	6	2.33	2.27	2.50	30	98	2.32	5.4
LAS TURBINAS	7	2.19	2.14	2.50	17	92	2.32	5.4
DOÑA LEONOR	8	2.27	1.94	17.00	5	84	2.31	5.6
DOÑA LEONOR	9	2.38	2.31	3.10	34	100	2.31	5.6
DOÑA LEONOR	10	2.34	2.30	1.90	32	99	2.31	5.6
DOÑA LEONOR	11	2.38	2.30	3.40	31	100	2.31	5.6
DOÑA LEONOR	12	2.34	2.28	2.80	32	99	2.31	5.6
DOÑA LEONOR	13	2.33	2.26	2.90	30	98	2.31	5.6
VILLA FUTURO	14	2.28	2.22	2.50	30	98	2.27	6.8
ENTEL	15	2.28	2.19	4.10	22	96	2.29	5.9
VILLA FUTURO	16	2.41	2.29	5.20	30	101	2.27	6.8
B. EDWARDS	17	2.23	2.09	6.60	15	94	2.23	7.5
LAS TURBINAS	18	2.30	2.21	4.10	21	95	2.32	5.4
LAS CANTERAS	19*	2.05	1.96	4.50	23	90	2.32	5.4
LOMATTA	20	2.40	2.26	6.20	27	102	2.22	7.9
LOMATTA	21	2.37	2.22	6.90	23	100	2.22	7.9
LAS CANTERAS	22	2.40	2.26	6.40	26	104	2.17	7.7
LAS CANTERAS	23	2.22	2.12	4.70	15	98	2.17	7.7
LAS CANTERAS	24	2.25	2.13	5.80	14	98	2.17	7.7
LAS CANTERAS	25	2.19	2.07	5.90	12	95	2.17	7.7

()* Dato no considerado en las regresiones

Tabla 2. Clasificación A1-a (GP)

OBRA	N° Dato	D.C.H. (Kg/dm3)	D.C.S. (Kg/dm3)	Humedad %	V.I.C. (promedio)	% Proctor	D.Máx (Kg/dm3)	Humedad Optima(%)
COPEC LAMPA	1	2.24	2.16	3.50	36	99	2.19	7.90
COPEC LAMPA		2.17	2.09	4.00	23	95	2.19	7.90
COPEC LAMPA	3	2.09	2.01	3.90	12	92	2.19	7.90
COPEC LAMPA	4	2.18	2.08	4.60	25	95	2.19	7.90
V. LA SALUD	5	2.22	2.05	8.10	13	98	2.10	8.80
V. LA SALUD	6	2.36	2.23	5.70	36	106	2.10	8.80
V. LA SALUD	7	2.25	2.17	3.50	29	104	2.10	8.80
V. LA SALUD	8	2.30	2.19	4.90	29	104	2.10	8.80
V. LA SALUD	9	2.29	2.18	5.10	28	104	2.10	8.80
V. LA SALUD	10*	1.99	1.93	3.00	23	92	2.10	8.80
V. LA SALUD	11	2.00	1.91	4.70	6	91	2.10	8.80
V. LA SALUD	12	1.80	1.65	8.90	4	79	2.10	8.80
WASIL	13	2.33	2.21	5.30	30	100	2.21	6.70
WASIL	14	2.23	2.12	5.20	23	96	2.21	6.70
WASIL	15	2.37	2.21	7.00	30	100	2.21	6.70
WASIL	16	2.30	2.21	4.20	26	100	2.21	6.70
WASIL	17	2.34	2.20	6.50	24	99	2.21	6.70
WASIL	18	2.37	2.22	6.90	31	100	2.21	6.70
WASIL	19	2.22	2.09	6.40	17	94	2.21	6.70
WASIL	20	2.38	2.22	7.30	31	100	2.21	6.70
WASIL	21	2.36	2.20	7.10	28	100	2*21	6.70
WASEL	22	2.33	2.21	5.40	29	100	2.21	6.70
WASIL	23	2.32	2.20	5.60	21	99	2.21	6.70
WASIL	24	2.37	2.22	6.80	29	100	2.21	6.70
EL TATERSAL	25	2.34	2.21	5.90	24	101	2.19	7.20
VÍA SALUD	26	2.24	2.14	4.70	34	100	2.15	8.70
COPEC LAMPA	27	2.19	2.10	4.40	23	96	2.19	7.90
COPEC LAMPA	28	2.33	2.18	6.80	28	100	2.19	7.90
COPEC LAMPA	29	2.21	2.10	5.30	26	96	2.19	7.90
COPEC LAMPA	30	2.40	2.27	5.60	43	104	2.19	7.90
COPEC LAMPA	31	2.42	2.30	5.00	50	105	2.19	7.90
COPEC LAMPA	32	2.24	2.14	4.70	17	98	2.19	7.90
COPEC LAMPA	33	2.34	2.21	5.70	26	101	2.19	7.90
COPEC LAMPA	34	2.30	2.20	4.60	30	100	2.19	7.90
COPEC LAMPA	35	2.29	2.17	5.50	23	99	2.19	7.90
J. DE VESP.	36	2.33	2.27	2.80	50	99	2.29	7.00
J. DE VESP.	37	2.33	2.26	3.10	48	99	2.29	7.00
J. DE VESP.	38	2.23	2.18	2.50	39	95	2.29	7.00
J. DE VESP.	39	2.35	2.22	5.80	35	97	2.29	7.00
C. L. CONDES	40	2.09	2.00	4.30	12	92	2.19	7.40
C. L. CONDES	41	2.23	2.14	4.30	31	98	2.19	7.40
C. L. CONDES	42	2.16	2.07	4.20	22	95	2.19	7.40
C. L. CONDES	43	2.20	2.09	5.50	18	95	2.19	7.40
C. L. CONDES	44	2.14	2.06	3.80	14	94	2.19	7.40
C. L. CONDES	45	2.12	2.05	3.20	13	94	2.19	7.40

(*) Dato no considerado en las regresiones

Tabla 3. Materiales tipo A6

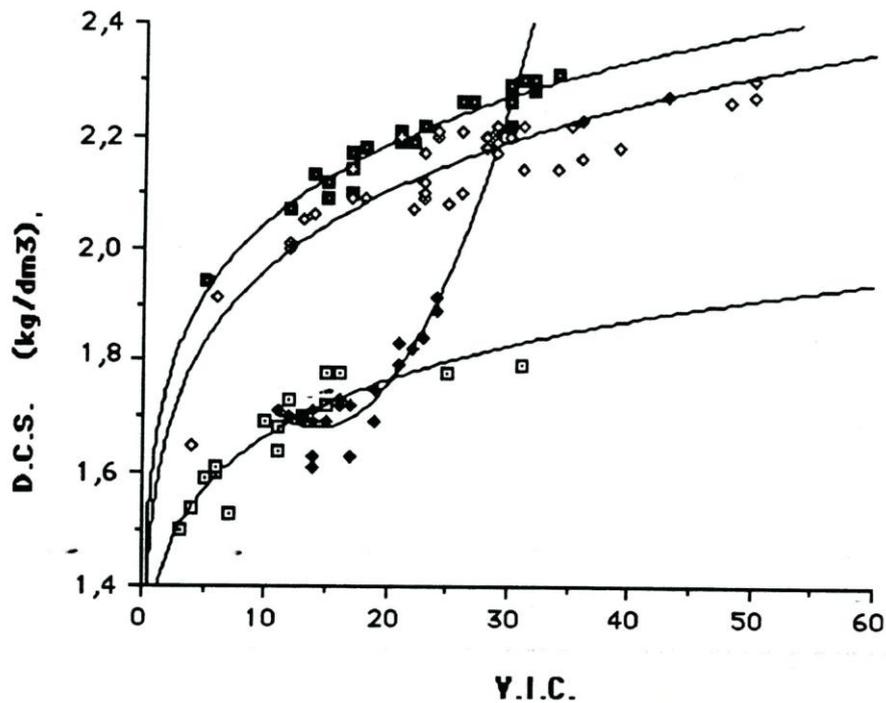
OBRA	N° Dato	D.C.H. (Kg/dm3)	D.C.S. (Kg/dm3)	Humedad %	V.I.C. (Promedio)	% Proclor	D. Max (Kg/dm3)	Humedad Optima(%)
VILLA FUTURO	1	2.04	1.84	10.60	23	100	1.85	15.20
VILLA FUTURO	2	2.03	1.82	11.40	22	99	1.85	15.20
VILLA FUTURO	3	2.12	1.91	11.10	24	96	1.99	11.40
WASIL	4	1.90	1.69	12.10	14	90	1.88	13.60
WASIL	5	1.93	1.71	12.60	11	91	1.88	13.60
WASIL	6	1.96	1.73	13.10	16	92	1.88	13.60
WASIL	7	1.88	1.71	10.10	14	91	1.88	13.60
WASIL	8	1.87	1.70	9.90	12	91	1.88	13.60
WASIL	9	1.90	1.69	12.60	13	90	1.88	13.60
WASIL	10	1.90	1.69	12.60	19	90	1.88	13.60
WASIL	11	1.87	1.70	10.10	13	90	1.88	13.60
WASIL	12	1.95	1.72	13.10	16	92	1.88	13.60
COPEC LAMPA	13	2.03	1.69	20.30	13	88	1.92	13.60
COPEC LAMPA	14	1.98	1.72	14.80	17	90	1.92	13.60
VILLA FUTURO	15	2.01	1.83	9.60	21	92	1.99	11.40
VILLA FUTURO	16	2.04	1.89	8.00	24	95	1.99	11.40
VILLA FUTURO	17*	1.81	1.59	13.90	20	86	1.85	15.20
VILLA FUTURO	18	1.92	1.75	9.60	19	95	1.85	15.20
J. DE VESP.	19	1.82	1.61	13.00	14	86	1.86	15.50
J. DE VESP.	20	1.92	1.63	17.60	14	87	1.86	15.50
J. DE VESP.	21*	1.68	1.50	11.70	10	80	1.86	15.50
J. DE VESP.	22	1.99	1.69	17.60	15	90	1.86	15.50
J. DE VESP.	23	1.86	1.63	14.30	17	87	1.86	15.50
J. DE VESP.	24	2.11	1.79	17.60	21	95	1.86	15.50
J. DE VESP.	25*	1.70	1.47	15.60	12	78	1.86	15.50

(*) Dato no considerado en las regresiones

Tabla 4. Materiales tipo A4

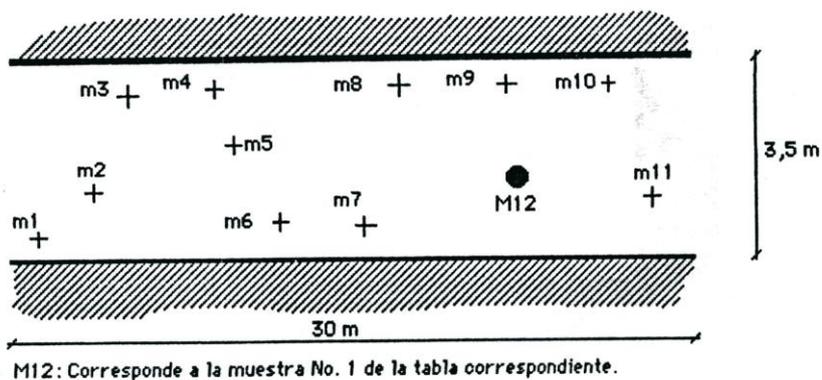
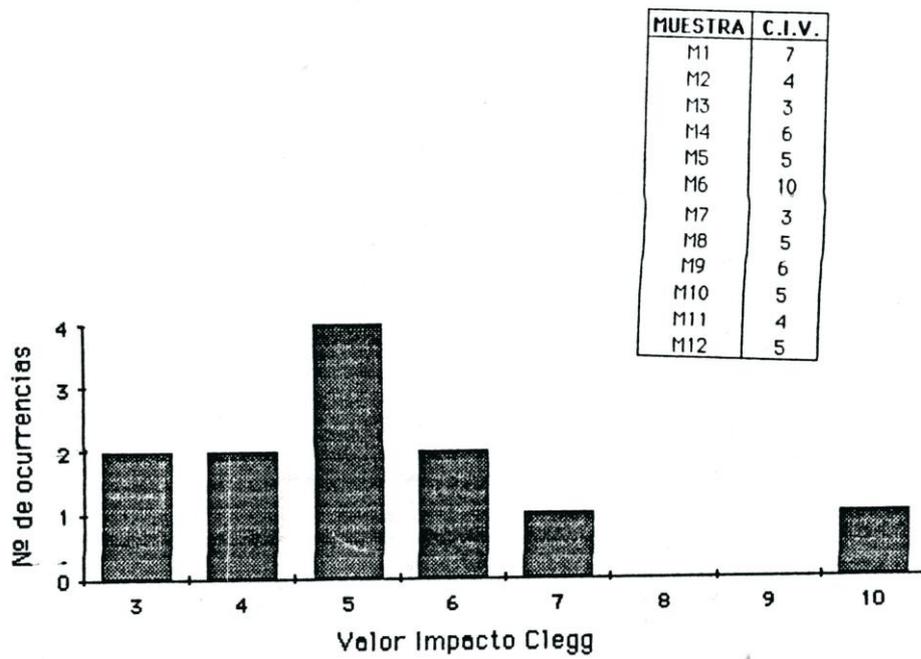
OBRA	N°	D.C.H.	D.C.S.	Humedad	V.I.C.	% Proctor	D. Max	Humedad
	Dato	(Kg/dm3)	(Kg/dm3)	%	(Promedio)		(Kg/dm3)	Optima(%)
LA CASONA	1	1.80	1.69	6.30	10	90	1.88	12.80
LA CASONA	2	1.70	1.54	10.30	4	82	1.88	12.80
LA CASONA	3	1.93	1.78	8.50	15	95	1.88	12.80
LA CASONA	4	1.85	1.67	11.00	24	89	1.88	12.80
LO MATTA	5	2.00	1.78	12.50	25	95	1.88	15.50
LO MATTA	6	1.89	1.70	11.20	13	90	1.88	15.50
LO MATTA	7	1.92	1.79	7.00	31	95	1.88	15.50
LO MATTA	8	1.90	1.60	91.00	6	91	1.76	18.90
LO MATTA	9	1.89	1.59	90.20	5	90	1.76	18.90
LO MATTA	10	1.88	1.61	91.40	6	92	1.76	18.90
LO MATTA	11	1.69	1.53	86.90	7	87	1.70	13.90
LO MATTA	12	1.95	1.50	88.20	3	88	1.70	13.90
LO MATTA	13	1.96	1.78	9.90	16	95	1.88	15.50
LO MATTA	14	1.82	1.68	8.40	11	89	1.88	15.50
LO MATTA	15	1.78	1.64	8.50	11	87	1.88	15.50
LO MATTA	16	1.88	1.72	9.40	15	92	1.88	15.50
LO MATTA	17*	1.93	1.73	11.90	12	92	1.88	15.50
LO MATTA	18*	2.04	1.80	13.30	10	96	1.88	15.50

(*) Dato no considerado en las regresiones



Material	Correlación
□ A4	$DCS = 1,3717 * CIV^{0,0843}$
◆ A6	$DCS = 2,1637 - 0,0676 * CIV + 0,0024 * CIV^2$
■ GW A1-a	$DCS = 1,647 * CIV^{0,0944}$
◇ GP A1-a	$DCS = 1,5558 * CIV^{0,1006}$

Fig. 2. Correlación Valor Impacto Clegg versus Densidad Compactada Seca



M12: Corresponde a la muestra No. 1 de la tabla correspondiente.

Fig. 3. Control de Densidad muestra N° 1 "Doña Leonor"

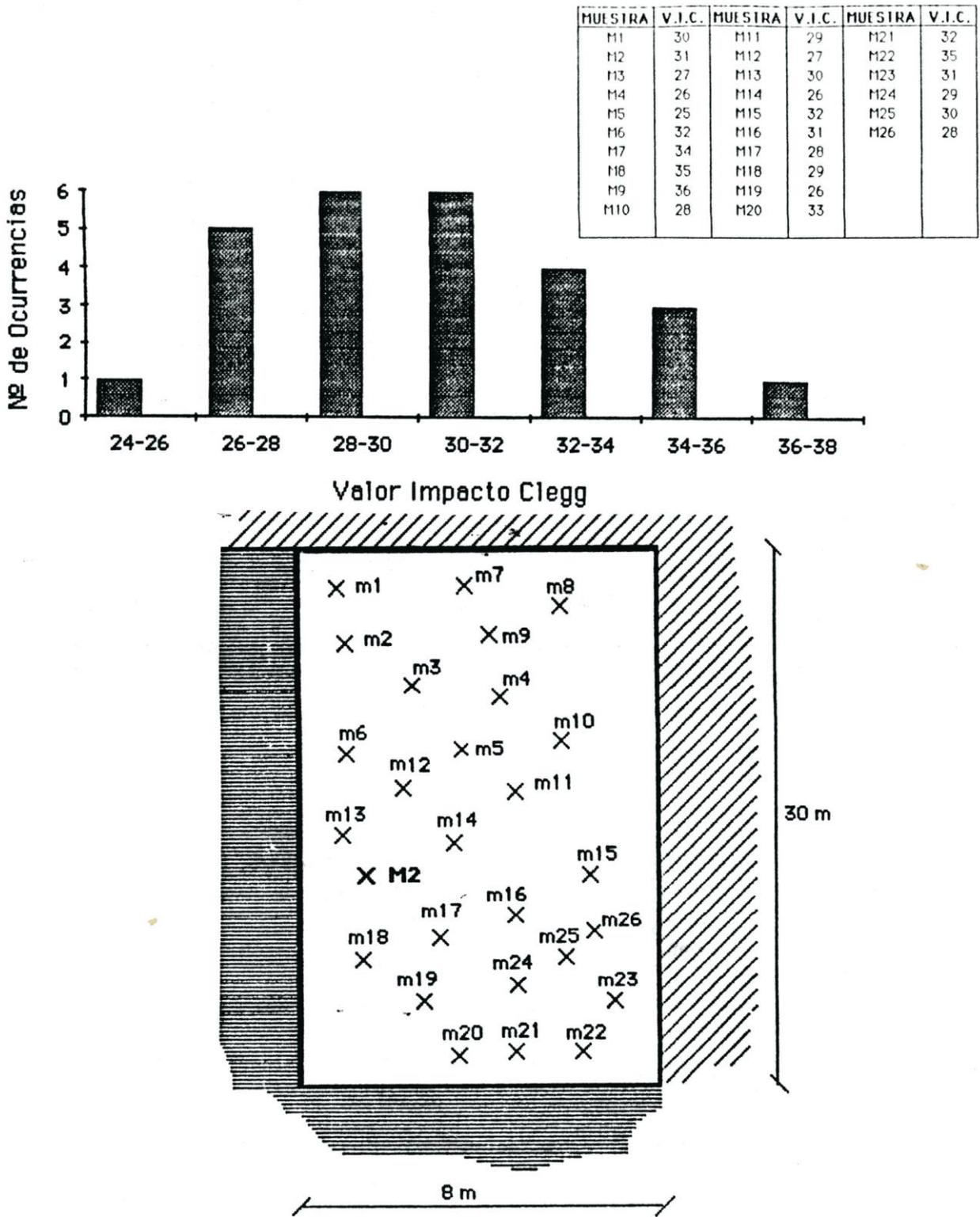


Fig. 4. Control de densidades "C. las Condes"

Tabla 5. Correlación entre DCS y VIC

Suelo	Correlación	Rango de Validez VIC
A4	$DCS = 1,37 * VIC^{0,0843}$	0 - 30
A6	$DCS = 2,16 - 0,07 * VIC + 0,002 * VIC^2$	10 - 25
GP A1-a	$DCS = 1,56 * VIC^{0,1006}$	3 - 50
GW A1-a	$DCS = 1,64 * VIC^{0,0944}$	5 - 35

Tabla 6. Criterio de aplicación o rechazo

Nº	OBRA	D.C.S.k (k/dm3)	D.C.S. Requerida (k/dm3)	Diferencia (k/dm3)
1	Dofia Leonor	1.86	2.19	-0.33
2	Dofia Leonor	2.26	2.19	0.07
3	Dofia Leonor	2.20	2.19	0.01
4	Dofia Leonor	2.26	2.19	0.07
5	Wasil (21)	1.69	1.79	-0.10
6	Wasil (30)	1.97	1.86	0.11
7	La Salud	2.06	2.00	0.06
8	V. Futuro	2.20	2.16	0.04
9	Tobalaba	*	1.76	*
10	C. Las Condes	2.17	2.08	0.09