TESIS
IC2000
M37
V.1

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

"ESTUDIO DE CORRELACIONES ESTADÍSTICAS PARA ESTIMAR EL MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO A FLEXIÓN UTILIZADO PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN EL CONCRETO, EN PAVIMENTOS RÍGIDOS Y SU INFLUENCIA ECONÓMICA EN DISEÑOS DE MEZCLA".

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR Marcano G., Carlos

Peña F, Aitor

PROFESOR GUIA Ing, Clermont, Cesar

FECH 27 de Octubre del 2000

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

"ESTUDIO DE CORRELACIONES ESTADÍSTICAS PARA ESTIMAR EL MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO A FLEXIÓN UTILIZADO PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN EL CONCRETO, EN PAVIMENTOS RÍGIDOS Y SU INFLUENCIA ECONÓMICA EN DISEÑOS DE MEZCLA".

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: Catorce (14) Puntos

JURADO EXAMINADOR

FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:
NOMBRE: Andrea Pinto	NOMBRE: Diego Cano	NOMBRE: CESAR CLERMONT

REALIZADO POR	Marcano G., Carlos
	Peña F, Aitor
PROFESOR GUIA	Ing, Clermont, Cesar
FECHA	27 de Octubre del 2000

A José María Díaz y a todos aquellos que no están con nosotros.

A Dios

A nuestras familias por todo el apoyo recibido

Al equipo de profesionales del departamento de premezclado de CEMEX, en especial a los Ing. César Clermont, Simón Farreras, Hernán Pérez y Ricardo Vera.

A todo el personal de la planta La Bandera de Venmarca Mixto Listo

A todos nuestros compañeros y amigos

SINOPSIS

La presente investigación se basa en el estudio de correlaciones estadísticas entre los ensayos a compresión, tracción indirecta y flexión del concreto, para las resistencias, de 210 kg/cm^2, 250 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2, elaborado en la planta de premezclado La Bandera, perteneciente a la empresa Venmarca Mixto Listo.

Para el estudio se elaboraron probetas cilíndricas y prismáticas provenientes directamente de la toma de camiones de premezclado despachados por la planta. Las probetas elaboradas se ensayaron a edades de curado de 7 y 28 días para todos los casos de diseño, con el objeto de obtener los valores de resistencia para los tipos de ensayos propuestos.

Para la validez estadística del estudio, se elaboraron quince (15) pares de probetas para cada tipo de ensayo y edad de curado, en cada diseño de mezcla. En total se elaboraron y ensayaron 540 probetas.

Con los resultados de los ensayos realizados, se procedió a realizar un análisis de regresión entre las variables de estudio con el objeto de proponer ecuaciones de correlación entre estos ensayos. En el contexto del análisis realizado, se calcularon parámetros estadísticos que confirmaran la valides de estas correlaciones.

Finalmente se estudió la influencia económica del cemento, en el comportamiento a flexión del concreto a través de gráficos basados en resultados experimentales.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
SINOPSIS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
CAPÍTULO I. Introducción	1
I.1. Descripción de la Empresa	1
I.2. Objetivo General	2
I.2.1. Objetivos Específicos	2
I.3. Antecedentes	3
I.4. Alcance	4
I.5. Limitaciones	5
CAPÍTULO II. Marco Teórico	8
II.1. Pavimentos	8
II.2. Comportamiento Estructural de los Pavimentos Rígidos	9
II.3. Influencia del Módulo de Rotura en el diseño de Pavimentos Rígidos	10
II.4. Módulo de Rotura	12
II.5. Resistencia a la Tracción Indirecta	15
II.6. Resistencia a Compresión	16
II.7. Relaciones entre Resistencias	17
II.7.1. Relación entre la resistencia a Tracción Indirecta y Flexión del Concreto	17
II.7.2. Relación entre la resistencia a Compresión y Flexión	18
II.7.3. Relación entre la resistencia a Compresión y Tracción Indirecta	21

Página

II.8. Estadística Aplicada al Control de Calidad de la producción de Concreto..... 21
II.9. Parámetros Estadísticos..... 24
II.9.1. Media Aritmética..... 24
II.9.2. Mediana..... 25
II.9.3. Desviación Estándar..... 25
II.9.4. Variación Total o Rango..... 26
II.9.5. Desviación Promedio..... 27
II.9.6. Distribución Normal..... 28
II.9.7. Fracción Defectuosa..... 29
II.10. Métodos de Análisis Estadísticos..... 30
II.10.1. Coeficiente de Determinación..... 32
II.10.2. Coeficiente de Correlación..... 34
II.10.3 Error dela Estima..... 35
II.11. Factor de Crecimiento..... 36

CAPÍTULO III. Metodología..... 38
III.1. Diseño Metodológico..... 38
III.2. Control de Calidad..... 39
III.2.1. Agregado Grueso..... 39
III.2.2. Agregado Fino..... 39
III.3. Diseño de Mezclas..... 40
III.3.1. Bolomey..... 40
III.3.2. Faury..... 41
III.4. Cemento..... 42
III.5. Aditivo..... 43
III.6. Desarrollo Experimental..... 44
III.6.1. Descripción de Equipos Utilizados..... 44
III.6.2. Toma de Muestras..... 45
III.6.3. Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams..... 46

Página

III.6.4. Elaboración de Probetas Cilíndricas..... 47

III.6.5. Elaboración de Probetas Prismáticas..... 48

III.6.6. Curado de Probetas Cilíndricas y Prismáticas..... 48

III.6.7. Ensayos de Probetas..... 49

III.6.7.1. Ensayo de Cilindros de Concreto a Compresión..... 49

III.6.7.2. Ensayo de Cilindros de Concreto a Tracción Indirecta..... 50

III.6.7.3. Ensayo de Vigas de Concreto a Tracción por Flexión..... 50

III.7. Metodología usada en el análisis de resultados..... 51

CAPÍTULO IV. Análisis de Resultados..... 54

CONCLUSIONES..... 116

RECOMENDACIONES..... 118

BIBLIOGRAFÍA..... .119

GLOSARIO..... 122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº **Página**

1. Estructura de Pavimento Rígido 9
2. Condición de Alabeo Cóncavo de las Losas 10
3. Vigas sometidas a Flexión 10
4. Comportamiento Mecánico de las Vigas 12
5. Módulo de Rotura 13
6. Correlación de Neville 18
7. Error dela Estima 36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº **Página**

1. Relación entre las resistencias a compresión y flexión del concreto..... 20
2. Variación de las Propiedades del Concreto..... 22
3. Valores de Desviación Estándar..... 26
4. Variabilidad de los resultados sobre la resistencia a tracción del concreto..... 26
5. Desviación Estándar Promedio..... 28
6. Resumen de los Resultados de los Ensayos..... 55
7. Parámetros Estadísticos..... 56
8. Ecuaciones de correlación..... 105
9. Error de la Estima..... 106
10. Relación entre la resistencia a compresión y flexión..... 106
11. Grado de control según desviación estándar y promedio..... 107
12. Valores para relación compresión vs tracción..... 110
13. Valores para relación compresión vs flexión..... 111
14, 15 y 16. Análisis económico..... 114

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico Nº **Página**

1. Cartas de Control..... 62
2. Histogramas..... 71
3 y 4. Correlaciones..... 80
5. Comportamiento de las Resistencias vs. Cantidad de Cemento..... 104

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

I.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La Corporación Venezolana de Cementos VENCEMOS fue fundada en el año 1943 por un grupo de empresarios Venezolanos liderado por Eugenio Mendoza Goiticoa. Esta empresa esta conformada actualmente por cuatro plantas productoras de cemento distribuidas estratégicamente en todo el territorio nacional de la siguiente forma:

- C.A. Vencemos Lara, fundada en el año 1945, ubicada en la ciudad de Barquisimeto, estado Lara; cuenta con una capacidad instalada de producción de 410.000 toneladas anuales de cemento.
- C.A. Vencemos Mara, fundada en el año 1947, localizada en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, con una capacidad de 620.000 toneladas anuales de cemento, la cual produce clinker, cemento portland tipo Y y tipo H para la cimentación de pozos petroleros.
- C.A. Vencemos Pertigalete, fundada en el año 1955, ubicada en la región Oriental del país, cuenta con la tecnología de producción más avanzada. Tiene la capacidad de producir 2.750.000 toneladas de clinker al año.
- Cementos Guayana, ubicada en la ciudad de Puerto Ordaz, estado Bolívar.

La empresa **Venmar C.A.,** fundada en el año 1979, fabrica, comercializa y distribuye concreto premezclado y morteros producidos mediante procesos industriales, conforme a las especificaciones requeridas por cada uno de sus clientes, y bajo las normas COVENIN establecidas.

Esta empresa dispone de diversas plantas de concreto premezclado ubicadas en la región Centro Norte del país, entre las que se encuentran: Catia la Mar, Cúa, el Llanito, Guatire, la Bandera, Santa Teresa, Tacarigua y cuatro plantas adicionales destinadas al proyecto del Ferrocarril. Para todas estas plantas se han desarrollado diversos tipos de diseño de mezclas de concreto, según las características y especificaciones requeridas por el proyecto a la cual van a ser destinadas.

En el año 1994 la empresa Vencemos se convierte en filial de CEMEX S.A., la cual es la empresa cementera más grande de América y la tercera del mundo.
En el año 2000 la Corporación Venezolana de Cementos S.A.C.A. cambia su denominación social a CEMEX Venezuela S.A.C.A.

I.2. OBJETIVO GENERAL

Establecer correlaciones estadísticas entre el ensayo de cilindros a compresión, el ensayo de cilindros a tracción indirecta y el ensayo de vigas a flexión, para estimar el módulo de rotura del concreto, para tres diseños de mezcla de concreto premezclado, fabricado mediante un proceso industrial y bajo las condiciones normativas para la producción de concreto en planta.. Adicionalmente elaborar un estudio de la influencia económica, basado en la relación entre la cantidad de cemento en peso y el módulo de rotura en los diseños de mezclas, bajo condiciones específicas de agregado.

I.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Análisis y control periódico de las propiedades físicas de los agregados utilizados en la elaboración de las mezclas a estudiar.
- Establecer la trabajabilidad de las mezclas a estudiar, como parámetro fijo en cada una de ellas.
- Definir la cantidad de probetas de concreto a elaborar para las mezclas de estudio, de forma tal que el análisis estadístico sea significativo.
- Hacer toma de muestras directamente en planta a los camiones de concreto premezclado, que transporten el tipo de mezclas objeto de este estudio.
- Elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas, para su posterior curado y ensayo a los 7 y 28 días respectivamente.
- Analizar cada uno de los resultados obtenidos de acuerdo a criterios estadísticos aplicables al estudio del concreto.

- Correlacionar los resultados obtenidos y desarrollar una herramienta gráfica que establezca una relación entre los ensayos de cilindros a compresión y tracción indirecta, con el módulo de rotura del concreto.
- Analizar cual de los ensayos de cilindros, entre tracción indirecta y compresión, tiene mejor correlación con el ensayo de vigas a flexión, para proponer una herramienta que permita estimar el módulo de rotura del concreto, en casos donde no se faciliten las condiciones para elaborar el ensayo de vigas a flexión.
- Estudiar la influencia económica del cemento en la producción de concreto elaborado en planta, para los diseños de mezcla en estudio, basándose en la relación entre el comportamiento a flexión del concreto y la cantidad de cemento utilizada para cada una de las resistencias a analizar, para así optimizar los diseños de mezclas.

I.3. ANTECEDENTES

Los pavimentos rígidos se han usado desde el año 1865 en Inglaterra. Desde 1909, en los Estados Unidos se comenzaron los procesos de ingeniería para pavimentación de carreteras con concreto, lográndose avances importantes en los años subsiguientes.

Los ensayos de pavimentos rígidos se comenzaron a realizar a principios de los años 1920, en donde se buscaba examinar el comportamiento de los mismos y la validez de los métodos de diseño existentes que se basaban únicamente en el conocimiento de las características de los materiales involucrados en su construcción, tales como el concreto y el tipo de suelo.

El primero de los ensayos de pavimentos fue el Ensayo de Carreteras Bates, que sirvió como modelo para los siguientes ensayos. Además, otros investigadores contribuyeron para mejorar el conocimiento en el diseño de espesores de pavimentos rígidos, como fue la colaboración del Dr. Westergaard y el Dr. Pickett. Basados en estos ensayos se realizaron posteriormente ensayos como ONE-MD que se llevó a cabo entre los años 1950-1951 en una carretera existente en Maryland, EE.UU.; el ensayo WASHO, realizado durante los años 1952-1954, se realizó sobre 40 secciones diferentes de pavimentos flexibles; y el más completo de todos,

conocido como el método AASHO realizado en la ciudad de Ottawa, Illinois, EE.UU. el cual fue realizado desde el año 1958 hasta finales de 1960.

El ensayo AASHO de carreteras fue tan elaborado que sirvió de base para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles en la mayoría de los Departamentos de Carreteras de los Estados, tanto en los EE.UU. como en otros países, lo cual llevó al desarrollo en el año 1961 de la guía "ASSHO Interim Guide for the Design of Flexible Pavement Structures" y de la guía "ASSHO Interim Guide for the Design of Rigid Pavement Structures" en el año 1962. En el año 1972, se consolidaron ambas publicaciones y se editó la guía combinada "AASHO Interim Guide for the Design of Pavement Structures" (a principios de los años 1970, la AASHO camina su denominación a AASHTO). Esta guía recibió revisiones en los 1986 y 1993, y en la actualidad es la más utilizada en el diseño de pavimentos tanto rígidos como flexibles.

El método AASHTO está basado en la resistencia a flexión del concreto, la cual se expresa como el módulo de rotura y se obtiene mediante ensayos destructivos a probetas prismáticas (vigas) de concreto, simplemente apoyadas con cargas aplicadas a los tercios del tramo. En Venezuela, este ensayo está descrito en la Norma COVENIN 342 y exige un control riguroso que es difícil de obtener en obra. Por esta razón la Corporación Venezolana de Cementos VENCEMOS ejecuta continuamente programas para la divulgación, construcción y control de calidad de pavimentos rígidos. Entre estos programas se han realizado diversos Trabajos Especiales de Grado con la finalidad de analizar características específicas del concreto utilizado en la construcción de pavimentos.

I.4. ALCANCE

Debido a que el ensayo a compresión de cilindros de concreto (COVENIN 338:1994) y el ensayo de tracción indirecta de probetas cilíndricas de concreto (COVENIN 341-79) tienen relación con el ensayo a flexión de vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo (COVENIN 342-79), se quiere estudiar el comportamiento de los ensayos de cilindros

para determinar cual de los dos ensayos es más confiable para sustituir el ensayo de vigas a flexión e implementarlo en el control de calidad de concreto para pavimentos rígidos.

El tamaño máximo, desgaste, forma y textura de los agregados fueron condiciones propias de estudio en esta investigación. Por estar enmarcado dentro de estas condiciones específicas de agregados, la empresa VENMARCA Mixto Listo, en su planta de premezclado La Bandera, podría utilizar los resultados de esta investigación como herramienta de control de calidad del concreto para pavimentos.

El alcance específico de este trabajo es el siguiente:

- Investigar los procedimientos para ensayar probetas de concreto a compresión, tracción indirecta y flexión según la norma COVENIN.
- Investigar la metodología y los parámetros que influyen en el diseño de mezclas de concreto para pavimentos según el método AASHTO.
- Toma de 540 probetas cilíndricas y prismáticas de concreto premezclado en planta para la elaboración, curado y ensayo a compresión, tracción indirecta y flexión; para hallar las correlaciones existentes entre los ensayos en estudio.
- Análisis de resultados y estudio estadístico de los mismos, en base a un análisis de regresión de variables para determinar los coeficientes de correlación para cada tipo de ensayo.
- Redacción y elaboración del informe final.
- Conclusiones y recomendaciones.

I.5. LIMITACIONES

- El período de tiempo con que se contó para la toma, elaboración y curado de probetas, limita la extensión de la muestra de estudio, debido a que desde el momento de fabricación de las mismas se debe esperar 28 días de curado para el ensayo respectivo de las probetas.
- Por características propias de la planta, los agregados utilizados están depositados en patios de almacenamiento al aire libre, por lo cual las condiciones de humedad de los mismos

varían constantemente según los cambios climáticos. Como consecuencia de esto, se pueden generar dispersiones en los resultados de los ensayos a ejecutar.

- Los ensayos necesarios referentes a los agregados, son elaborados periódicamente por el personal de control de calidad de la planta la Bandera, por lo cual, los datos referentes a esos ensayos, presentados en esta investigación, son tomados directamente de la base de datos de la empresa. Lo que significa que estos ensayos no son parte del alcance de este trabajo, pero, sin embargo, se realizó un seguimiento contínuo de los mismos.
- Los agregados utilizados provienen de tres proveedores diferentes, por lo tanto estos presentan características granulométricas, desgaste, forma y textura diferentes. Estas variaciones también se pueden reflejar en los resultados de los ensayos.
- Ya que la producción de concreto en la planta es un proceso industrial, los diseños de mezclas utilizados en esta investigación, son los usados en la fabricación de concreto en planta, por lo que no fue necesario realizar el diseño de dichas mezclas.
- La norma **COVENIN 344** contempla la toma de muestras en el tercio central del volumen del camión, para el control de calidad del concreto en obra; pero debido a las condiciones de la metodología de esta investigación, la toma de muestras fue realizada en planta, por lo que estas se obtuvieron del primer tercio del volumen total de los camiones de premezclado, lo cual puede afectar los resultados debido que en este tramo del volumen, el mezclado del concreto puede no ser uniforme, pudiéndose obtener una muestra de la mezcla con mayor cantidad de agua, con mayor pasta de cemento que agregado, o viceversa.
- Debido a la fabricación industrializada del concreto, el pesado de sus materiales componentes se realiza con una tolerancia de $\pm$ 20 kg; ya que las balanzas de pesado de la planta requieren de una calibración periódica y las cantidades de materia prima que se manejan en la elaboración de las mezclas son elevadas (en el orden de las toneladas) y el pesado de las mismas se ajusta manualmente. Por lo que se tiende generalmente a sobre diseñar la dosificación de las mezclas para prevenir resultados inferiores a las resistencias de diseño.
- Durante el período de estudio, la planta estaba trabajando por debajo de su capacidad de producción, lo cual retrasó el trabajo ya que los diseños de mezclas requeridos no se producían en la planta constantemente.

- La cantidad de concreto necesaria para la elaboración de las probetas de un mismo amasado, representaban un volumen aproximado a los 100 litros, lo que exigía hacer las tomas provenientes de camiones cargados con 7 m3 o más de concreto, limitando aun más las posibilidades de hacer las tomas con la regularidad requerida.
- La disponibilidad de moldes para la elaboración de las probetas, pudiéndose realizar como máximo tres (3) muestras diarias.
- El control de la velocidad de aplicación de carga de la prensa hidráulica disponible en el laboratorio de la planta, se debía ajustar manualmente para cada caso de ensayo. Cualquier error en el ajuste de la velocidad de la prensa puede influir en los resultados de los ensayos, si estos no se ejecutan a las velocidades especificadas en la norma COVENIN para cada tipo de ensayo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Como introducción a este capítulo, se puede definir el concreto como un material heterogéneo, conformado por la mezcla en cantidades adecuadas de agregados (arena, grava o piedra triturada), cemento y agua con la posible presencia de otros componentes (aditivos químicos, aire incorporado, etc.) para que se obtengan las resistencias prefijadas según los requerimientos del cliente o de la obra a construir. Según la composición del concreto, sus materiales componentes poseen características físicas y químicas diferentes, por lo cual estas requieren ser controladas periódicamente con una serie de ensayos normativos para así asegurar la calidad de la mezcla de concreto, basándose en las condiciones de sus componentes y las cantidades requeridas de cada uno de ellos.

II.1. PAVIMENTOS

Se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas del tránsito, y las transmiten a las capas inferiores distribuyéndolas con uniformidad, sin sufrir agrietamientos y/o deformaciones permanentes. Estas condiciones se deben cumplir para cualquier diseño de pavimento, para un período de tiempo determinado. De acuerdo a su método constructivo, los materiales utilizados y la forma en que se distribuyen los esfuerzos bajo las cargas de tránsito, los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos.

Los pavimentos rígidos están conformados por una capa de material granular dispuesta sobre la subrasante, y una superficie de rodamiento conformada por una losa de concreto de espesor variable. Estos pavimentos no requieren espesores significativos de capas de materiales granulares intermedias entre la losa de concreto y la subrasante, y el diseño de los espesores de dicha losa se basa en consideraciones sobre su resistencia a los esfuerzos de flexión. En los pavimentos rígidos, la losa estructural de concreto sufre deformaciones muy pequeñas bajo la acción de la carga, de donde el peso de los vehículos se distribuye bajo el área de la losa de concreto y las deformaciones trasmitidas a la subrasante son menores.

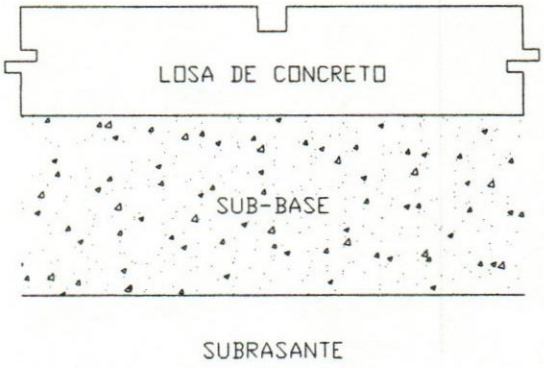


Figura N° 1. Estructura de Pavimentos Rígidos

II.2. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

Los pavimentos de concreto son estructuras constituidas por losas, cuyas condiciones de apoyo están definidas por una base de material granular generalmente conformado por piedra picada y por las restricciones en los bordes que le imponen las losas adyacentes.

Las cargas que transmiten los vehículos sobre las losas de concreto en un pavimento rígido, generan esfuerzos internos y deformaciones, induciendo a que éstas tiendan a permanecer en una condición de alabeo cóncavo, con apoyo en la zona central y bordes ligeramente despegados de la base (Ver Figura N° 2). Bajo estas condiciones, se asume que las losas del pavimento se comportan como vigas sometidas a flexión, produciéndose tanto esfuerzos de tracción como de compresión (Ver Figura N° 3). Los esfuerzos de compresión no son relevantes en el cálculo de los espesores de la losa, debido a que estos, son pequeños con respecto a la resistencia real a compresión del concreto; mientras que los esfuerzos a tracción corresponden generalmente a un 50% de la resistencia a compresión del concreto. De manera que, después de continuas repeticiones de carga, se logra la fatiga del material. Por esta razón, en los métodos de diseño de pavimentos rígidos, la resistencia a tracción por flexión del concreto, definida por medio del módulo de rotura, es un parámetro fundamental para el cálculo del espesor de la losa del pavimento.

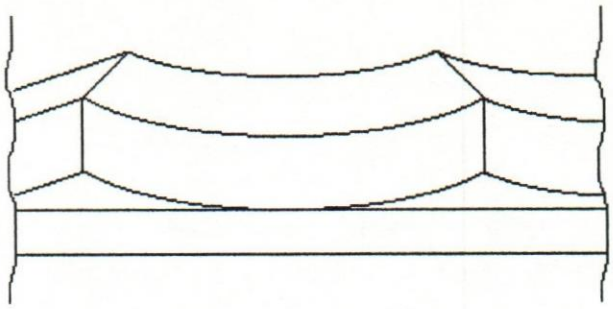


Figura N° 2. Condición de alabeo cóncavo de las losas

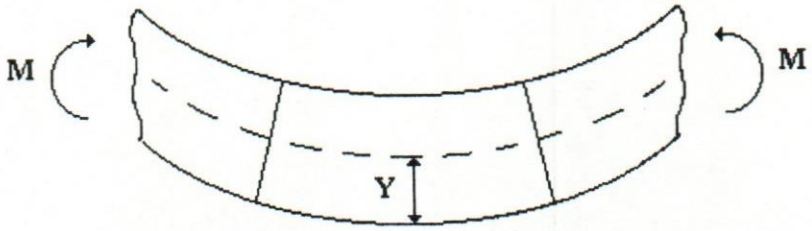


Figura N° 3. Vigas sometidas a flexión

II.3. INFLUENCIA DEL MÓDULO DE ROTURA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS (Método AASHTO)

El método para el diseño de espesores para pavimentos de la AASHTO está basado en los resultados obtenidos del ensayo vial AASHO iniciado en el año 1958 en Ottawa, Illinois.

El método AASHO, utiliza las relaciones obtenidas en los pavimentos utilizados del experimento vial. El cual estaba constituido por losas de concreto con un valor de módulo de elasticidad muy específico (Ec= $4{,}2x10^6$ lbs/pulg^2) y un valor de módulo de rotura definido (M.R. = 690 lbs/pulg^2), provistos de pasadores para la transmisión de cargas entre las losas, las cuales estaban tendidas sobre una subrasante que ofrecía un soporte definido. Este método de diseño parte de los resultados obtenidos en un caso particular, para desarrollar con la ayuda de consideraciones teóricas, una fórmula para así hacerla aplicable al diseño de un pavimento rígido cualquiera.

En ese experimento vial, se compararon los esfuerzos medidos en las losas de concreto con los esfuerzos teóricos de diseño, calculados según las fórmulas de Westergaard, Spangler y Pickett, donde se concluyó que existían diferencias entre los esfuerzos medidos y los calculados, pero las fórmulas de Westergaard y Spangler para la carga en las esquinas, proporcionaron resultados que guardan excelente relación lineal con los esfuerzos medidos. Por lo cual se decidió utilizar la fórmula de Spangler, por su simplicidad, en el estudio realizado para desarrollar una fórmula inicial de diseño.

El análisis de resultados del experimento reveló que el logaritmo de la relación: módulo de rotura del concreto entre el esfuerzo máximo (calculado por la fórmula de Spangler) y el logaritmo del número de aplicaciones de carga (w) que produce dicho esfuerzo, hasta alcanzar un índice de utilidad final "p", están ligados por la relación lineal:

$$\mathbf{\log(w) = a + b*\log(M.R./\sigma)} \qquad [\,1\,]$$

donde:

a: constante.

b: pendiente de la recta en el gráfico log(w) vs log (M.R./σ)

M.R.: módulo de rotura del concreto en lbs/pulg^2

σ : esfuerzo máximo de tensión del concreto en lbs/pulg^2.

Esta relación fue posteriormente modificada debido a la inclusión de nuevas variables, obteniéndose la ecuación de diseño contenida en el método AASHTO 86-93 donde se establece que:

$$\mathbf{\log_{10}(w_{18}) = Z_r * S_0 + 7,35 * \log_{10}(D+1) - 0,06 + K_1 + (4,22 - 0,32 * p_t) * K_2} \qquad [\,2\,]$$

$$K_1 = \left[\frac{\log_{10}\left[\dfrac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5}\right]}{1 + \dfrac{1,624 * 10^7}{(D+1)^{8,46}}} \right] \qquad K_2 = \left[\frac{S`_c * C_d * (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 * J * \left[D^{0,75} - \left[\dfrac{18,42}{(Ec/k)^{0,25}} \right] \right]} \right]$$

donde:

W_{18}: cargas estimadas por eje equivalente

Z_r: confiabilidad

S_0: error estándar combinado

D: espesor de losa

p_t: serviciabilidad final

ΔPSI: pérdida de serviciabilidad

S'_c: Módulo de Rotura (M.R.)

C_d: coeficiente de drenaje

J: coeficiente de transferencia de carga

Ec: módulo de elasticidad del concreto

K: módulo de reacción del apoyo

Todas las variables propuestas en la ecuación [2], se encuentran definidas mediante tablas en el manual de diseño de pavimentos según el método AASHTO (Ver Anexo 1), donde se relacionan las variables en cuestión con las características de la vía, tales como: el nivel de tráfico, cargas, usos (urbano o rural), tipo de subrasante y base, clima, proceso constructivo, entre otros.

II.4. MÓDULO DE ROTURA

La resistencia a tracción debido a la flexión del concreto se le conoce como Módulo de Rotura, generalmente expresado en lbs/pulg^2 según la metodología propuesta por la AASTHO. Esta variable del concreto, es de baja magnitud si la comparamos con la resistencia a compresión del material. La explicación mecánica del módulo de rotura, se obtiene utilizando el diagrama de esfuerzos producidos en una viga sometida a flexión, el cual es el siguiente:

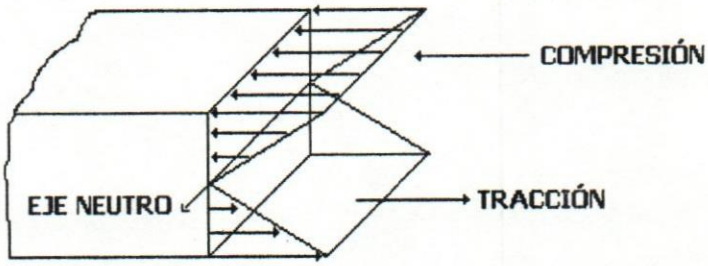


Figura N° 4. Comportamiento mecánico de las vigas

En la figura N° 4 se observa que los momentos flectores producidos en la viga, producen esfuerzos de compresión por encima del eje neutro, y esfuerzos de tracción por debajo del mismo.

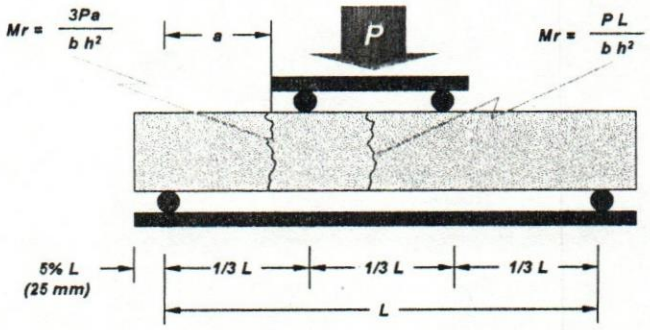
Debido a que el concreto es muy poco resistente a esfuerzos de tracción, ya que éste es un material heterogéneo, se presenta poca adherencia entre sus componentes; por lo tanto se deduce que al someter una viga a flexión ésta fallará en su zona a tracción antes de que la zona a compresión haya alcanzado su máximo esfuerzo. Por lo tanto, el módulo de rotura depende directamente del esfuerzo a tracción que resiste el concreto.

Para determinar el módulo de rotura se ensaya una probeta prismática de concreto simplemente apoyada, sobre la cual se aplican dos cargas concentradas en el tercio central según Norma COVENIN 342 (ver Anexo N° 2). La falla de la viga es brusca, con una grieta única que fractura el espécimen generalmente en el tercio central, en la fibra más alejada del eje neutro, donde el momento flector es máximo, constante y, por consiguiente, los esfuerzos son mayores. A continuación se presenta un esquema del ensayo de probetas prismáticas a flexión.

Figura N° 5

MODULO DE ROTURA

Diagrama de dispositivo para ensayar a flexión vigas de concreto



Los esfuerzos teóricos en cualquier fibra del espécimen vienen dados por la expresión:

$$\sigma = \frac{M*y}{I} \quad (kg/cm^2) \quad [3]$$

donde:

M: momento flector.

y: distancia desde el eje neutro hasta la fibra considerada

I: momento de inercia de la sección transversal de la probeta

El esfuerzo máximo de tracción (Módulo de Rotura), ocurre en la fibra más alejada de la viga con respecto al eje neutro. En probetas de material heterogéneo y sección transversal rectangular, el centro de gravedad coincide con el eje neutro; lo que genera que la fibra más alejada del eje recibe mayores esfuerzos de tracción, es decir:

$$y = \frac{h}{2} \quad (cm.) \quad [4]$$

Según la figura Nº 5, el momento flector en el tercio central de la viga viene dado por:

$$M = \frac{P}{2} * \frac{L}{3} \quad (kg*cm) \quad [5]$$

El momento de inercia de la sección transversal de la probeta es:

$$I = \frac{b*h^3}{12} \quad (cm^4) \quad [6]$$

Sustituyendo las ecuaciones [4], [5]y [6] en [3], se obtiene que el módulo de rotura se determina con la siguiente expresión:

$$\mathbf{M.R.} = \frac{\mathbf{P * L}}{\mathbf{b * h^2}} \quad (kg/cm^2) \quad [7]$$

donde:

M.R.: módulo de rotura en kg/cm^2

P: carga máxima aplicada en kg.

b: ancho de la viga en cm.

L: longitud de la viga en cm.

h: altura de la viga en cm.

II.5. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA:

Los investigadores brasileños Carneiro y Barcello, desarrollaron otro método para medir la resistencia a tracción denominado comúnmente "Ensayo Brasilero", y detallado en la norma COVENIN 341 (ver Anexo Nº 3). En este ensayo se coloca una probeta cilíndrica, en una estructura de acero, de manera tal que el eje de la misma quede en posición horizontal entre las placas de la prensa de ensayo, para la aplicación de carga continua hasta alcanzar la falla de la probeta, lo cual genera la fractura longitudinal del cilindro.

El ensayo Brasilero es de fácil ejecución y arroja resultados más uniformes que otras pruebas de tracción. Se cree que la resistencia determinada por este tipo de ensayo representa valores más apegados a la resistencia teórica a tracción del concreto, en comparación a los resultados obtenidos según el módulo de rotura. (Neville, 1981-201)

Debido a que la carga es aplicada a lo largo de la generatriz de la probeta cilíndrica, las fibras contenidas en el diámetro vertical de ésta, estarán sometidas a esfuerzos de compresión σ_c según la expresión:

$$\sigma_c = \frac{2 * P}{\pi * L * D} * \left[\frac{D^2}{r * (D - r)} - 1 \right] \quad (kg/cm^2) \quad [8]$$

donde:

σ_c: esfuerzos de compresión en kg/cm^2

P: carga de compresión sobre el cilindro en kg.

L: longitud del cilindro en cm.

D: diámetro del cilindro en cm.

r y (D – r) : son las distancias del elemento a las dos cargas aplicadas respectivamente en cm.

La probeta estará sometida a esfuerzos de tracción σ_t , según la expresión:

$$\sigma_t = \frac{2 * P}{\pi * L * D} \quad (kg/cm^2) \quad [9]$$

donde:

σ_t: esfuerzos de tracción en kg/ cm^2

P: carga de compresión sobre el cilindro en kg.

L: longitud del cilindro en cm.

D: diámetro del cilindro en cm.

Los esfuerzos de una sección contenida en el diámetro vertical de la probeta cilíndrica se ilustran en el Anexo 4.

II.6. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a compresión es uno de los parámetros más importantes en la evaluación del concreto endurecido. Esta resistencia se determina comúnmente mediante el ensayo a compresión de probetas cilíndricas de dimensiones estándar según norma COVENIN 338 (ver Anexo N° 5).

Al comprimir las probetas entre las superficies planas se supone que la fuerza aplicada se distribuye uniformemente sobre las secciones en contacto con el cabezal de la prensa. Sin embargo, al profundizar en la esencia del ensayo y el análisis de la fractura de la probeta, se entiende que la carga uniaxial produce sobre la misma deformaciones centrífugas y la rotura ocurre por solicitaciones de tracción.

La resistencia a compresión f´c se expresa como el cociente entre la carga máxima aplicada y el área de la sección transversal media del cilindro, de la siguiente forma:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (kg/\ cm^2) \qquad [\ 10\ ]$$

donde:

P: carga máxima aplicada en kg.

A: área de la sección transversal del cilindro en cm^2

II.7. RELACIONES ENTRE LAS RESISTENCIAS

No existe una ley válida para describir el comportamiento del concreto bajo todo el campo de solicitaciones posibles. Por lo que se acostumbra a presentar relaciones de origen empírico, que correlacionen las resistencias del concreto bajo diversos estados de solicitaciones. Sin embargo, existen una serie de experiencias anteriores de las cuales se han obtenido resultados, para plantear expresiones matemáticas que relacionan estos tres ensayos; las que han servido de base para esta investigación, y a continuación se presentan algunas de ellas.

II.7.1. RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA Y FLEXIÓN DEL CONCRETO

Se ha demostrado en estudios anteriores la factibilidad de correlacionar la resistencia a tracción por flexión con la resistencia a tracción indirecta del concreto. Según Adam Neville (1977), existe una relación lineal entre el módulo de rotura y la resistencia a tracción indirecta (Figura N° 6), y que además, esta relación es dependiente del tipo de agregado empleado, independiente de la edad del concreto y válida para cualquier diseño de mezcla.

De la figura N° 6 se obtiene la siguiente expresión matemática:

$$\mathbf{M.R. = 1{,}0294*TI + 16{,}324} \quad (kg/cm^2) \qquad [\ 11\ ]$$

donde:

M.R.: módulo de rotura en $kg/\ cm^2$

TI: tracción indirecta en $kg/\ cm^2$

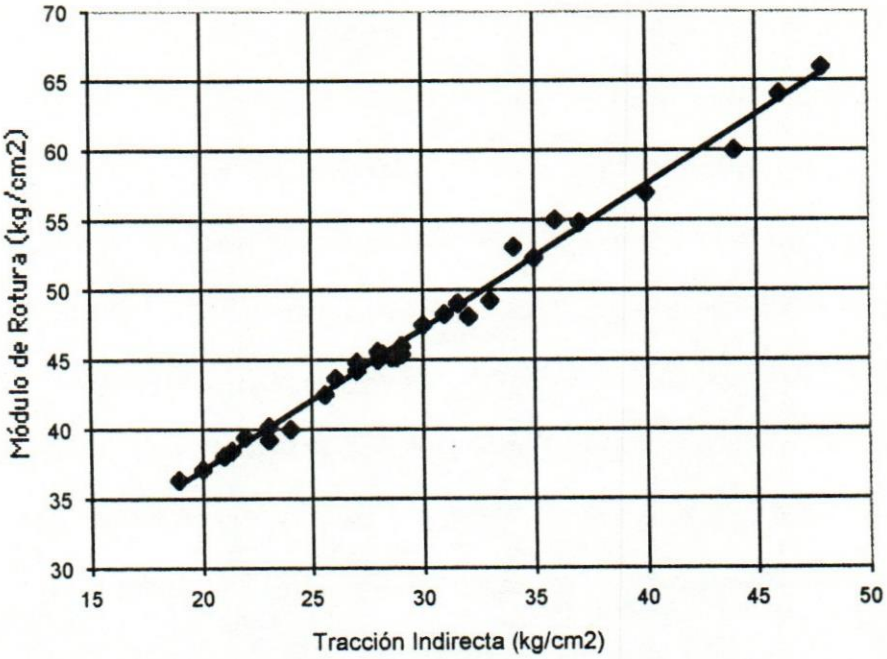


Figura N° 6. Correlación de Neville.

En el control rutinario del concreto para pavimentos, se puede confirmar la propuesta de Neville basándose en datos experimentales, lo que permite realizar un control de calidad adecuado del concreto por medio del ensayo Brasilero, en sustitución del ensayo de vigas por flexión; ya que el ensayo a flexión resulta más costoso y complicado de realizar en campo.

II.7.2. RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

El estudio de las resistencias a la compresión y a la flexión de muestras de prueba, podría hacer creer que ambos tipos de resistencia están estrechamente relacionados. Desde luego, esto es cierto, pero no hay proporcionalidad y la relación depende del nivel general de resistencia del concreto. En otras palabras, al aumentar la resistencia a la compresión (f'c), la resistencia a la flexión (M.R.), aumenta también pero en grado cada vez menor.

Varios factores afectan la relación entre las dos resistencias. El efecto benéfico del agregado grueso triturado sobre la resistencia a flexión: **"la relación entre la resistencia a flexión y la**

resistencia a la compresión depende del tipo de agregado, ya que, excepto en el concreto de alta resistencia, las propiedades del agregado, especialmente su textura superficial, afectan la resistencia final a compresión mucho menos que a la resistencia a la tensión o a la carga de agrietamiento a compresión." (Tomado de: Tecnología del Concreto. A. M. Neville, 1977, pág. 290).

La relación entre estas resistencias se ve afectada también por la granulometría del agregado. Esto probablemente se debe a la diferente magnitud del efecto de los costados de las vigas y muestras de compresión: sus relaciones superficie / volumen son diferentes, de modo que se requieren distintas cantidades de mortero para una compactación completa.

La edad es también un factor en la relación entre la resistencia a compresión y flexión: donde, a los 28 días, la resistencia a flexión aumenta más lentamente que la resistencia a la compresión, y la relación M.R./f´c disminuye con el tiempo. Esto concuerda con la tendencia general de que la relación disminuya con un incremento de f´c.

La resistencia a flexión del concreto es más sensible a un curado inadecuado que la resistencia a compresión, tal vez debido a que los efectos de una contracción no uniforme sobre las vigas probadas a flexión son muy graves.

Para relacionar la resistencia a compresión con la resistencia a flexión, se han sugerido una gran cantidad de fórmulas, tomándose como una de las más aceptadas la ecuación que se presenta a continuación:

$$\mathbf{M.R. = K*(f'c)^n} \quad (kg/cm^2) \qquad [\,12\,]$$

En algunas normas el valor **n** se considera fijo, por razones de comodidad, ya que no varía notablemente (se suele igualar a 1/2 o a 2/3). El valor **K** depende de las características de los componentes, en especial de la rugosidad de los agregados.

Específicamente, EL Comité Européen de Betón, postula que el módulo de rotura se relaciona con la resistencia a la compresión de los cilindros por medio de la expresión:

$$\mathbf{M.R. = 2{,}56 * \sqrt{f'c}} \quad (kg/cm^2) \qquad [\ 13\ ]$$

Donde M.R. es el módulo de rotura y f´c se determina en pruebas estándar de cilindros, ambas expresadas en kg/cm^2.

En vista a los numerosos factores que influyen en la relación entre estas resistencias, no causa sorpresa el que no haya una relación simple de aplicación general. De los datos obtenidos en los laboratorios de la Pórtland Cement Association, se presenta la tabla N° 1, donde se muestran las relaciones entre la resistencia a compresión y flexión para distintos valores de resistencias, determinadas mediante ensayos a flexión de vigas con cargas aplicadas a los tercios centrales.

Tabla N° 1. Relación entre las resistencias a compresión y flexión del concreto.

Resistencia a la compresión de cilindros. (kg/cm^2)	**Relación entre las resistencias M.R./f´c**
70	0,23
140	0,19
210	0,16
280	0,15
350	0,14
420	0,13
490	0,12
560	0,12
630	0,11

Tomado de: Tecnología del Concreto, Tomo 1, Adam Neville, (1977), Pág. 303.

II.7.3. RELACIÓN ENTRE COMPRESIÓN Y TRACCIÓN INDIRECTA

La resistencia a la tracción posee una dispersión sensiblemente mayor que a la compresión. La relación funcional más aceptada entre estas dos variables es del tipo:

$$\mathbf{T.I = 1{,}1 * C * \sqrt[3]{f'c^2}} \quad (kg/cm^2) \qquad [\ 14\ ]$$

donde la constante **C** oscila entre 0,48 y 0,70, tomando como valor promedio 0,59. Es de destacar que el valor **C**, depende de las características de los componentes, en especial a las de los agregados. Esta relación es recomendada para resistencias a compresión mayores a 250 kg/cm^2, pero para resistencias menores a 250 kg/cm^2, es aceptable el empleo de la relación lineal:

$$\mathbf{T.I. = 0{,}09 * f'c + C} \quad (kg/cm^2) \qquad [\ 15\ ]$$

Basándose en el marco teórico expuesto anteriormente, el objetivo general de esta investigación es obtener de forma empírica, las relaciones antes descritas entre los esfuerzos de compresión, tracción y flexión, estableciendo las mismas condiciones de variabilidad mencionadas para cada una de las relaciones; de manera de implementar los resultados obtenidos, en el control de calidad de las mezclas de concreto fabricadas bajo procesos industriales en planta, con el fin de compararlos con estudios existentes para muestras elaboradas en condiciones controladas de laboratorio.

II.8. ESTADÍSTICA APLICADA AL CONTROL DE CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO

La resistencia característica del concreto bajo diversas condiciones de solicitaciones dadas, se define como aquel valor de resistencia por debajo del cual se espera obtener no más de un determinado porcentaje de la población de todas las posibles mediciones de resistencia de un diseño de mezcla específico.

El concreto es un material heterogéneo cuya calidad esta sujeta a la influencia de diversas variables; la cual depende de las características de cada uno de sus materiales componentes, de las proporciones en que estos son mezclados, y de los procedimientos de mezclado, transporte, colocación y curado. Todo esto da lugar, aun para una misma clase y tipo de concreto, que se pueda presentar cierta variabilidad en sus propiedades. De esta forma, al producirse un concreto bajo condiciones semejantes de empleo de sus materiales componentes, tecnología adoptada y métodos de control de calidad, para un mismo diseño de mezcla y una misma edad de curado, la serie de resultados obtenidos de resistencia de un mismo tipo de ensayo arroja un rango de valores agrupados alrededor de un valor central, que sigue una distribución normal de frecuencias.

El establecimiento de una resistencia característica, puede implicar que exista la probabilidad, dada por la distribución normal de frecuencias, de que una cantidad de valores de los datos analizados, sea inferior al valor de la resistencia de diseño establecida. Las variaciones de las resistencias mecánicas y otras propiedades del concreto, e incluso la existencia de una cierta fracción defectuosa, deben ser aceptadas por todo lo antes expuesto. Es importante recalcar que un concreto de una determinada calidad puede ser elaborado con elevado nivel de confiabilidad, si se mantiene un control apropiado de los niveles de variaciones antes mencionados y si los resultados de los ensayos son adecuadamente interpretados y sus limitaciones son consideradas.

Tabla N° 2

Variación de las Propiedades del Concreto	Discrepancia en los Métodos de Ensayo
• **Cambios en la relación A/C:** ° Pobre control de agua. ° Variación excesiva de la humedad del agregado.	• **Procedimientos inadecuados de muestreos.**

• **Variaciones en los requerimientos del agua:** ° Granulometría del agregado, absorción, forma de las partículas. ° Propiedades del cemento y de los aditivos. ° Contenido de aire de la mezcla. ° Tiempo de entrega y temperatura de la mezcla.	• **Variación con respecto a las técnicas de fabricación de las probetas:** ° Manipulación y curado de las probetas hechas recientemente. ° Pobre calidad de los moldes de las probetas.
• **Variaciones en las características y proporción de los componentes:** ° Agregados ° Cemento ° Aditivos	• **Cambios en el curado de las probetas:** ° Variaciones de temperatura. ° Humedad variable. ° Demora en la entrega de probetas al laboratorio.
• **Variaciones en el transporte, vaciado y compactación de la mezcla de concreto.**	• **Pobres procedimientos de ensayo de las probetas:** ° Colocación del capping de las probetas. ° Realización de los ensayos a compresión.
• **Variación de la temperatura y curado del concreto.**	

Tomado de: Elementos de Estadística y diseño de experimentos en la tecnología del hormigón, Howland (s.f.), Pág. 49.

Una excesiva variación de la resistencia a compresión del concreto, significa un nivel inadecuado de control de calidad, y es indispensable tener en cuenta que el mejoramiento del grado de este control, se refleja en una reducción notable del costo del concreto y del consumo de cemento, ya que el valor central de la resistencia a compresión, en la distribución de frecuencias, puede ser llevado mucho más cerca de los requisitos especificados por el proyectista mediante la resistencia característica.

Hay que añadir, que los métodos de que se disponen para determinar las propiedades del concreto, son en general, poco precisos; se producen variaciones tanto en la preparación de las

probetas como en sus ensayos. Por lo que debemos incluir en el control de calidad del concreto dos aspectos importantes, como lo son: el control de nivel o valor promedio y el de dispersión o variabilidad.

Las variaciones que se presentan en los resultados de los ensayos de concreto tienen dos orígenes, uno son las variaciones reales de calidad que tiene el material y el otro son variaciones aparentes provenientes de la imprecisión intrínseca de los ensayos (procedimientos, personal, equipos, medio ambiente). Las principales causas de estas variaciones, cuando se trata de la resistencia del material, se indican en la tabla N° 2.

II.9. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

La estadística constituye la herramienta más adecuada y útil que se dispone para el control de calidad, la cual permite condensar los datos obtenidos y presentarlos en forma probabilística de manera que sean fácilmente comprensibles y comparables. Sin embargo, la estadística no toma decisiones, las cuales tienen que basarse en criterios de otra índole, debido a que ésta solo expresa la probabilidad de que se alcancen ciertos límites para establecer un criterio uniforme en el análisis de resultados. Lo importante es que una vez decididos estos límites de calidad, los mismos se mantengan invariables en todas las circunstancias lo cual permitirá una referencia segura a que atenerse.

A continuación se presentan las variables estadísticas utilizadas en esta investigación:

II.9.1. Media Aritmética o Promedio Aritmético ($\bar{x}$)

Es la suma de todos los datos de una serie o distribución dividida entre el número de valores **n**.

Representa la tendencia central del valor de los ensayos del conjunto de los resultados involucrados. Su fórmula es:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad [16]$$

donde:

x_i: valores de los resultados de los ensayos.

n: número de muestras estudiadas.

II.9.2. Mediana

Es el valor o punto que divide a la muestra de estudio en dos partes iguales, esto implica que en ambos lados de la mediana se encontraran el 50 % de los valores.

II.9.3. Desviación Típica o Estándar (S)

Es la medida más representativa de la dispersión del conjunto de datos o variabilidad de los mismos, la cual indica la desviación de cada ensayo con respecto a la media de la muestra y viene dado por la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad [17]$$

La desviación estándar refleja las variaciones entre las amasadas de concreto, las cuales se deben fundamentalmente a las propias variaciones en las características y propiedades de las materias primas, como lo son el cemento, los agregados (finos y gruesos), los aditivos y el agua. También influyen las variaciones propias del proceso de dosificación, mezclado, muestreo y todo el sistema de preparación, tratamiento, curado y ensayo de las probetas.

De acuerdo con la tabla N° 3, se puede evaluar la uniformidad de la muestra de concreto a partir de su desviación estándar.

Tabla N° 3. Valores de desviación estándar para diferentes grados de control de calidad del concreto a compresión a 28 días (kg/cm^2)

Tipo de Operación	Grados de Control				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Deficiente
Control de Campo (a pie de obra o planta)	<28,1	28,1 – 35,2	35,2 – 42,2	42,2 – 49,2	> 49,2
Mezcla de prueba en el Laboratorio	< 14,1	14,1 – 17,6	17,6 – 21,1	21,1 – 24,6	> 24,6

Tomado de: Elementos de Estadística y diseño de experimentos en la tecnología del hormigón, Howland (s.f.), Pág. 58.

Adicionalmente se presenta la tabla N° 4, con valores propuestos para desviación estándar en los ensayos a tracción indirecta y flexión del concreto, a la edad de 28 días.

Tabla N° 4. Variabilidad de los resultados sobre la resistencia a tracción del concreto.

Tipo de Ensayo	Desviación Estándar (kg/cm^2)
Ensayo a Tracción Indirecta	1,4
Módulo de Rotura	2,5

Tomado de: Tecnología del Concreto, Tomo 2, A. M. Neville, (1977), Pág. 200.

II.9.4. Variación Total o Rango (d)

Es la diferencia entre el valor máximo y mínimo de los obtenidos en el grupo de ensayo que se analiza.

$$d = x_{más} - x_{mín} \ (kg/cm^2) \qquad [18]$$

II.9.5. Desviación Promedio

Al ensayar un mínimo de dos probetas por cada diseño de mezcla se puede obtener la desviación estándar propia del ensayo. Si se hacen otras mezclas del mismo tipo de concreto, se obtiene una nueva estimación de la dispersión con la cual se están realizando los ensayos.

De los sucesivos valores de desviaciones estándar obtenidos de todos los ensayos realizados de un mismo diseño, la desviación estándar promedio será una estimación de la desviación estándar del ensayo según la fórmula:

$$s_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} s}{n} \quad (kg/cm^2) \qquad [19]$$

donde:

S: desviación estándar en kg/cm^2

n: número de muestras

Para que éste parámetro alcance niveles de confiabilidad aceptables, el mismo debe ser obtenido de no menos de 30 resultados de prueba procedentes de un mínimo de 10 mezclas diferentes.

Los ensayos mal ejecutados pueden arrojar índices de calidad del concreto erróneos, en uno u otro sentido. Por ello es importante conocer el valor dela desviación promedio, llegando al caso que sea necesario disminuir su magnitud, mejorando las técnicas y el personal de ensayo. (Ver Tabla Nº 2)

En la tabla Nº 5 se ofrecen los valores de desviaciones promedios que se suelen alcanzar, según las distintas condiciones de control de calidad con que se realicen los ensayos.

Tabla N° 5. Desviación estándar promedio de los ensayos para diferentes grados de control de calidad del concreto a compresión a 28 días (kg/cm^2)

	Tipo de Control		
	Malo	**Usual**	**Excelente**
Obra	>15	9 a 12	< 8
Laboratorio	> 12'	7 a 9	< 5

Tomado de: Manual del Concreto, Porrero, Salas, Ramos, Grases y Velasco, (1996), Pág. 283.

II.9.6. Distribución Normal

Si los resultados de los ensayos de las probetas de concreto, son llevados a un gráfico cartesiano, donde las abscisas representan las resistencias obtenidas en los mismos (expresadas por intervalos), y el eje de las ordenadas representa las frecuencias con las cuales se producen esas magnitudes, se genera una curva de forma acampanada denominada distribución normal de frecuencias o curva de Gauss. Por medio de esta herramienta gráfica, se aprecia que las magnitudes cercanas a la media son abundantes y por el contrario, los valores extremos (los muy altos y muy bajos) son relativamente escasos. Esta herramienta representa una metodología que facilita el manejo y cálculo de datos, por lo que se suele usar en análisis estadísticos como modelo de distribución. (Ver Anexo 6).

En una distribución normal el área total bajo la curva representa una probabilidad de ocurrencia del 100%; y el área entre límites de magnitud establecidos representa la probabilidad de que ocurran esos valores entre dichos límites. Los límites de esta curva son ($-\infty$; $+\infty$), y debe recordarse que la distribución normal se emplea como una aproximación a las observaciones físicas, por lo que la ecuación matemática solo es válida entre límites finitos.

La curva de distribución normal es simétrica, es decir, tiene dos mitades iguales que se unen en el valor medio (resistencia promedio del concreto). En la región central de la curva,

definida por (μ - σ) y (μ + σ), se acumulan cerca de las dos terceras partes de los resultados (68,3 %), siendo su resistencia muy similar a la resistencia promedio. Donde el valor μ es la media del universo.

Muchas propiedades de los materiales y en particular la resistencia a compresión del concreto, no se distribuyen estrictamente mediante una curva normal, sin embargo, las diferencias con ellas son relativamente pequeñas, y quedan ampliamente compensadas por las ventajas que, indicadas anteriormente, ofrece esta herramienta gráfica.

II.9.8. Fracción Defectuosa

Es un parámetro que se establece en las normas y cuya magnitud debe ser precisada o acordada
en forma arbitraria, ya que dentro de ciertos límites de la distribución de frecuencias no hay razones técnicas ni estadísticas para que su magnitud sea una o otra.

Al multiplicar σ por coeficientes designados comúnmente por "Z", se definen áreas dentro de la distribución normal de frecuencias, que establecen criterios de aceptación o rechazo, de forma tal que (μ - Zσ) define un área de probabilidad, la cual expresada en porcentaje se denomina fracción defectuosa; es decir, es el porcentaje aceptable de resultados de resistencia de ensayos al concreto inferiores al valor de la resistencia de diseño, cuando el número de probetas ensayadas es igual o superior a 30. Este porcentaje es limitado a ciertos valores permisibles establecidos en las normas. En el diseño de mezclas se usan generalmente 10%, 20% y 50% de fracción defectuosa, dependiendo del tipo de elemento a construir e importancia de la obra. Lo importante es que una vez definida una magnitud para este parámetro, la misma se mantenga invariable, como referencia fija a la cual poder atenerse tanto en los cálculos estructurales como en los diseños de mezclas de concreto y en las reglas y criterios para el control de calidad del material.

Como complemento de la definición de fracción defectuosa, es conveniente proponer criterios para aceptar valores mínimos de ensayos inferiores a la resistencia de diseño. Basado en este contexto, el enfoque del Reglamento de las Construcciones de la ACI 1971, propone dos requerimientos para la resistencia mínima de ensayos a compresión, con relación a la resistencia de diseño del concreto. Primero, existe una probabilidad de uno en cien (0,01) de que el promedio de tres pruebas consecutivas resulte inferior a la resistencia de diseño. Segundo, existe una probabilidad de uno en cien (0,01) de que una prueba individual resulte inferior a la resistencia de diseño en más de una vez la desviación estándar.

En el mismo orden de ideas, el British Code of Practice 1957, propone criterios para resultados de pruebas inferiores a cien probetas. De los cuales se pueden mencionar los siguientes:

a) El promedio de cinco probetas consecutivas no deberá ser menor que el mínimo estipulado.

b) El 90 % de todas las pruebas excederá el mínimo.

c) No habrá prueba por debajo del 80 % de la resistencia de diseño.

II.10. MÉTODOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

La correlación es la metodología que estudia diversas variables simultáneamente, para conocer la forma en que éstas se encuentran interrelacionadas. En otros casos se tiene una variable de interés particular y las restantes variables se estudian con la posibilidad de que ayuden a esclarecer la tendencia que estas tienen con respecto a la variable de estudio, esto se conoce como método de regresión. Además de ser flexibles, los métodos de regresión son los métodos naturales a usar en muchas situaciones experimentales.

Aún cuando un coeficiente de correlación es útil para establecer que dos o más variables se encuentran relacionadas, no se presta nunca a enunciados cuantitativos, a menos que este se asocie con la regresión, así pues la correlación es solo la primera parte en el estudio

estadístico de la relación entre dos variables, mientras que la regresión es la técnica básica en este tipo de estudios.

En la práctica encontramos a menudo que existen relaciones entre dos o más variables para un mismo caso de estudio. Es conveniente expresar tales relaciones en forma matemática para determinar una expresión que conecte las variables. Para hallar tal ecuación, se deben obtener datos suficientes que representen valores correspondientes a las variables en consideración, para luego graficar estos en un sistema de coordenadas cartesianos. El gráfico obtenido se denomina generalmente diagrama de dispersión, a partir del cual es posible visualizar una curva suave que refleja la tendencia de los datos estudiados, la cual se denomina curva aproximante.

Las ecuaciones de curvas aproximantes consideradas son:

$Y = a + b*X$	Lineal	[20]
$Y = a + b*X + c*X^2$	Cuadrática	[21]
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*X^3$	Cúbica	[22]
$Y = a + b*Ln(X)$	Logarítmica	[23]
$Y = a*X^b$	Potencial o Geométrica.	[24]

Las variables X , Y se denominan variables independientes y dependientes respectivamente.

En el caso de existir relaciones lineales entre las variables de estudio se utiliza la ecuación general de la recta:

$$\mathbf{Y = a + b*X} \qquad [\,20\,]$$

Esta recta aproxima el conjunto de puntos obtenidos de un universo de **n** elementos, generándose pares ordenados (X_1, Y_1), (X_2, Y_2),.....(X_n, Y_n).

El problema entonces radica en determinar los valores de los parámetros **a** y **b**, de manera que la recta se aproxime satisfactoriamente a la serie de puntos obtenidos experimentalmente. El método más conocido para problemas de regresión es el de los **Mínimos Cuadrados**, que se basa en hallar los valores de los parámetros que reducen al mínimo la suma de los cuadrados de los errores.

Mediante el empleo de formas matemáticas se obtiene que, en el caso de la línea recta de regresión:

$$\mathbf{b} = \frac{\mathbf{n} * (\sum \mathbf{X_i} * \mathbf{Y_i}) - (\sum \mathbf{X_i}) * (\sum \mathbf{Y_i})}{\mathbf{n} * (\sum \mathbf{X_i^2}) - (\sum \mathbf{X_i})^2} \qquad [\,25\,]$$

$$\mathbf{a} = \frac{\sum \mathbf{Y_i} - \mathbf{b} * (\sum \mathbf{X_i})}{\mathbf{n}} \qquad [\,26\,]$$

Donde **n** es el número de pares de observaciones y en todos los casos las sumatorias van desde i=1 hasta n.

Después que se ha ajustado una línea de regresión a un grupo de puntos, se puede inspeccionar su gráfico, y observar el porcentaje de variación de los valores de la variable Y explicados por la ecuación de regresión, mediante un procedimiento matemático, el cual consiste en calcular las magnitudes de todos los errores y se conoce como error típico de estimación.

II.10.1. Coeficiente de Determinación (R^2)

El coeficiente de determinación es la manera primaria de medir el grado de la relación que existe entre dos variables, X y Y. Este expresa el porcentaje (%) de la variación de una variable que es explicado por la línea de regresión. El coeficiente de determinación se obtiene de la relación entre dos tipos de variación de los valores de Y en el conjunto de datos alrededor de:

- La línea de regresión ajustada.
- Su propia media.

Así pues, para aplicar esta definición, es razonable expresar la variación de los valores de Y alrededor de la línea de regresión mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Variación de los valores de Y alrededor de la línea de regresión} = \sum(\mathbf{Y} - \overline{\mathbf{Y}})^2 \qquad [27]$$

Y la segunda variación, la de los valores de Y alrededor de su propia media, está determinada por:

$$\text{Variación de los valores de Y alrededor de su media} = \sum(\mathbf{Y} - \hat{\mathbf{Y}})^2 \qquad [28]$$

Uno menos la razón entre esas dos variables, es el coeficiente de determinación, que se representa como $\mathbf{R^2}$:

$$\mathbf{R}^2 = 1 - \frac{\sum(\mathbf{Y} - \hat{\mathbf{Y}})^2}{\sum(\mathbf{Y} - \overline{\mathbf{Y}})^2} \qquad [29]$$

donde:

Y: valores de la variable dependiente

$\hat{\mathbf{Y}}$: valores estimados obtenidos de la ecuación de estimación que corresponden a cada valor de Y.

$\overline{\mathbf{Y}}$: valor de la media

La ecuación mencionada del coeficiente de determinación, es completamente general y puede utilizarse para relaciones no lineales, tanto como para lineales, la única diferencia, es que $\hat{\mathbf{Y}}$ se calcula a partir de una ecuación de regresión no lineal en lugar de una ecuación de regresión lineal.

II.10.2. Coeficiente de Correlación (R)

La definición del coeficiente de correlación, es completamente general y puede utilizarse tanto para relaciones lineales como no lineales. En el caso de una relación no lineal, éste se calcula a través de una ecuación de regresión no lineal.

Debe insistirse que el valor de **R** calculado mide en cualquier caso el grado de relación, relativa al tipo de ecuación que realmente se supone. Si se supone una ecuación lineal y el coeficiente **R** es próximo a cero, significa que no existe correlación lineal entre las variables. Sin embargo, ello no significa que no exista correlación alguna, puesto que puede haber una correlación no lineal entre ellas. En otras palabras, el coeficiente de correlación mide la bondad de ajuste de la ecuación supuesta a los datos. A menos que se especifique de otro modo, el termino de coeficiente de correlación se utiliza como coeficiente de correlación lineal.

El coeficiente de correlación R, se representa según la siguiente ecuación:

$$\mathbf{R} = \pm\sqrt{\mathbf{R}^2} \qquad [\,30\,]$$

Donde $\mathbf{R}^2$, es el coeficiente de determinación anteriormente mencionado.

Cuando la pendiente de la ecuación de estimación es positiva, **R** es la raíz cuadrada positiva; pero si la pendiente de la ecuación es negativa, R es la raíz cuadrada negativa. Así pues, el signo de R indica la dirección de la relación entre las dos variables X y Y. Cuando la relación entre las dos variables de estudio es directa y la pendiente es positiva, (si Y aumenta al hacerlo X) el signo de R es positivo.

El coeficiente de correlación **R**, es más difícil de interpretar que el coeficiente de determinación $\mathbf{R}^2$, ya que **R** no es otra cosa que la raíz cuadrada de $\mathbf{R}^2$, y no se puede interpretar directamente su significado.

II.10.3. Error de la Estima ó Error Estándar de Estimación. ($S_{y,x}$)

El error de la estima, se utiliza con el propósito de medir la confiabilidad de la ecuación de estimación. Este error es similar a la desviación estándar, ya que estos dos valores son medidas de dispersión. La diferencia entre estos, es que la desviación estándar se emplea para medir la dispersión de un conjunto de observaciones en torno a la media, y el error de la estima, en cambio, mide la variabilidad o dispersión de los valores observados alrededor de la línea de estimación.

El error de la estima se calcula con la ecuación siguiente:

$$S_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{n}} \ (kg/cm^2) \qquad [31]$$

donde:

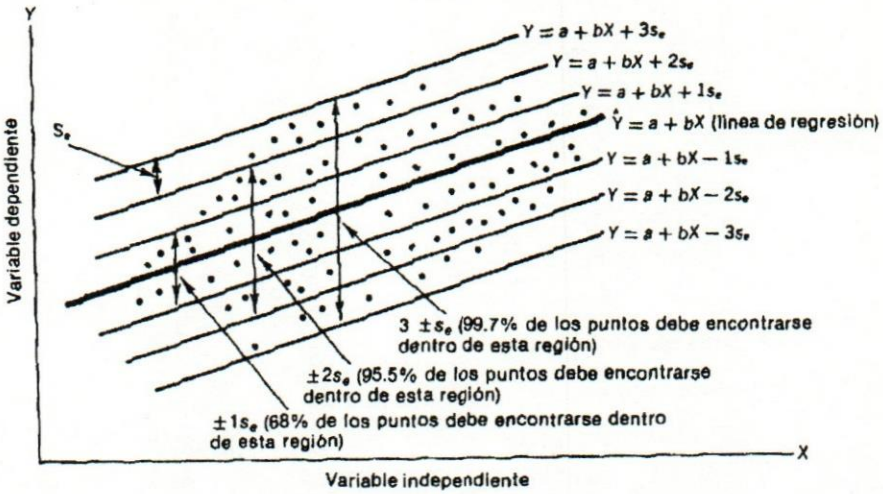
Y: valores de la variable dependiente

$\hat{Y}$: valores estimados obtenidos de la ecuación de estimación que corresponden a cada valor de Y.

n: número de datos usados para ajustar la línea de regresión.

Si se supone que todos los puntos observados están normalmente distribuidos alrededor de la línea de regresión, cabe esperar encontrar 68 % de ellos dentro de $\pm$ 1*$S_{y,x}$, 95.5 % de los puntos dentro de $\pm$ 2* $S_{y,x}$, y 99.7 % de los puntos dentro de $\pm$ 3* $S_{y,x}$. En la figura N° 7, se muestran estos límites alrededor de la línea de regresión. Una característica que se observa en la figura N° 7 es que el error de la estima se mide en la dirección del eje Y, y no perpendicularmente a la línea de regresión.

Figura N° 7.



Tomado del: Estadística para Administradores, Richard Levin, (1988), Pág. 561.

II.11. FACTOR DE CRECIMIENTO

La velocidad de crecimiento de las resistencias del concreto depende de la actividad y comportamiento de sus componentes, fundamentalmente de la calidad del cemento empleado (composición y finura) y si se están empleando aditivos; pero también depende, en cierto grado, de otros parámetros como temperatura, dosis de cemento, calidad de los agregados, etc. Estas circunstancias hacen que resulte imposible predecir con precisión y de una manera general, las resistencias a una edad, en base a las de otra edad.

Para casos específicos de un concreto que se hace siempre con unos mismos materiales y en unas mismas condiciones, se pueden llegar a establecer factores que permitan este tipo de cálculo con bastante precisión. Estos factores se tienen que determinar de forma experimental, ensayando repetidamente el concreto a las edades involucradas.

En el caso general, aunque sea con poca precisión, sigue siendo interesante en muchas ocasiones el tener una idea aproximada del posible aumento de resistencias. A continuación se presenta el factor de crecimiento promedio y la desviación estándar correspondiente, para la relación entre las edades de ensayo de 7 y 28 días; obtenidos, ambos parámetros, del

análisis de una amplia variedad de concretos hechos en Venezuela, los cuales incluían a todos los cementos Pórtland tipo I nacionales y distintos agregados y diseños de mezclas.

$$\frac{R_{28}}{R_7} = 1{,}4 \pm 0{,}3 \quad [\,32\,]$$

Tomado de: Manual del Concreto Fresco; Porrero Joaquín, Ramos Carlos, Grases José, (1979), Pág. 15.

Este valor del factor de crecimiento, se refiere al desarrollo de resistencias a compresión en probetas cilíndricas conservadas en condiciones normalizadas.

CAPITULO III. METODOLOGÍA

La base experimental de ésta investigación se fundamenta en la toma de muestras de concreto directamente de los camiones de concreto premezclado que se despachan en la planta la Bandera, perteneciente a la empresa Venmarca Mixto Listo.

III.1. DISEÑO METODOLÓGICO

Basándose en el marco teórico descrito anteriormente, se pretende comprobar que tipo de relación existe entre las resistencias obtenidas de los ensayos de probetas de concreto sometidas a compresión, tracción indirecta y flexión, para diseño de mezclas específicas. Para la selección de las resistencias de estudio, se fijó un rango de valores que incluye la resistencia de 250 kg/cm^2 como la resistencia mínima a compresión en la fabricación de pavimentos rígidos, la resistencia a compresión de 280 kg/cm^2 como la resistencia media característica en pavimentos de concreto y la resistencia de 210 kg/cm^2 como complemento de los valores de estudio.

Para comprobar el objetivo de esta investigación, se elaboraron probetas de concreto (vigas y cilindros), para practicarle a estas ensayos destructivos a los 7 y 28 días de curado. Las mismas fueron elaboradas en forma simultánea para cada muestra obtenida de un mismo camión, a fin de garantizar la uniformidad del muestreo. El estudio estuvo conformado por tres diseños de mezcla diferentes, de quince (15) pares de probetas para cada condición de ensayo y edad de curado. Para lo cual, se obtuvieron de cada muestra de concreto ocho (8) cilindros y cuatro (4) vigas, con la finalidad de ensayar dos cilindros a compresión, dos cilindros a tracción indirecta y dos vigas a flexión por cada edad de curado establecida y por cada resistencia de diseño propuesta. Resultando en total 180 cilindros a compresión, 180 cilindros a tracción y 180 vigas a flexión.

III.2. CONTROL DE CALIDAD

Todos los materiales y equipos utilizados en la elaboración de este estudio fueron suministrados por la empresa Venmarca Mixto Listo, en su planta de premezclado la Bandera. Además, todos los ensayos referidos a los componentes de la mezcla de concreto son elaborados periódicamente por el laboratorio de control de calidad de la planta, o por laboratorios certificados externos a la empresa, por lo que no fue necesario para la realización de este proyecto la ejecución de estos ensayos, y los datos de los mismos fueron tomados directamente de la base de datos del sistema del control de calidad (ver Anexo 7). Adicionalmente en el Anexo 11, se muestra el patio de agregados de la planta. Es de destacar que en las mezclas usadas en esta investigación se utilizaron como agregados Piedra Silicia, con tamaño máximo de una pulgada (1"), y Arena Silicia; provenientes de las Areneras: Araguita, Aponte y La Virginia. A continuación se enuncian los ensayos característicos realizados a los agregados en el laboratorio de control de calidad de la planta:

III.2.1. Agregado Grueso

- Determinación de la composición granulométrica de agregados gruesos (COVENIN 255)
- % Pasante de tamiz # 200 (COVENIN 258)
- Peso Específico y Absorción (COVENIN 269)
- % Partículas Planas y Alargadas (COVENIN 264)
- Peso Unitario (COVENIN 263)
- Desgaste los Ángeles (COVENIN 266)*
- Disgregabilidad de los agregados (COVENIN 271)*

III.2.2. Agregado Fino

- Determinación de la composición granulométrica de agregados finos (COVENIN 255)
- % Pasante de tamiz # 200 (COVENIN 258)
- Peso Específico y Absorción (COVENIN 268)

- Peso Unitario (COVENIN 263)
- Impurezas orgánicas en arenas para concreto. Ensayo Colorimétrico (COVENIN 256)
- Cloruros y Sulfatos solubles en las arenas (COVENIN 261)*
- Disgregabilidad de los agregados (COVENIN 271)*

  - Ensayos realizados por el laboratorio de materiales de la UCAB.

Adicionalmente, en el Anexo N° 8, se presenta gráficamente el rango de valores para la relación (β), entre el agregado fino y el agregado total, que se utiliza en la planta para la elaboración de los diseños de las diferentes mezclas. Estas gráficas establecen los valores máximos y mínimos de β que se pueden utilizar para el diseño de las mezclas, según los resultados de las granulometrías de los agregados.

III.3. DISEÑO DE MEZCLAS

Durante muchos años se han empleado métodos de dosificación empíricos, pero el avance constante de la tecnología del concreto fue necesario puntualizar en técnicas nuevas de diseño de manera de adaptarse a estas y considerar más variables en el problema. Lo que significa la dosificación del concreto ha llegado a ser un objetivo importante del trabajo que hay que realizar para cumplir exactamente las especificaciones de diseño del proyecto. Pero nada se conseguirá afinando más los métodos de dosificación, si no se mejora paralelamente el control de calidad del proceso de diseño y fabricación del concreto.

A continuación se describen los dos métodos de dosificación utilizados por la planta de premezclado La Bandera para sus diseños de mezclas:

III.3.1. Bolomey

Este método de diseño es aplicado para la fabricación de concreto, y se basa en determinar las proporciones, en porcentajes, de los materiales componentes de la mezcla de concreto, usando como datos del diseño la cantidad de cemento en peso, y el tamaño máximo de los agregados a utilizar. Para lo cual, con el uso de tablas del Anexo N° 9, se determina la cantidad de agua a

dosificar en función de la cantidad de cemento, para luego corregirla según el tamaño máximo delos agregados y la trabajabilidad requerida en el diseño. Posteriormente se determina la curva de composición de los agregados o áridos de la mezcla según la expresión matemática denominada curva de Bolomey. Mediante el uso de tablas se determinan valores referenciales de las variables de dicha curva, para luego definir la composición de los agregados de la mezcla según dos procedimientos planteados, como lo son el tanteo o por el módulo de finura del cemento y la arena de manera de plantear un sistema de ecuaciones para determinar los tantos por cientos de cada fracción de agregados que debemos emplear en la mezcla de concreto para finalmente establecer la dosificación de los materiales de la mezcla por cada metro cúbico de concreto a elaborar. Las tablas utilizadas se ilustran en el Anexo N° 9, donde se plantean ejemplos de diseño mediante este método.

III.3.2. Faury

Este método de diseño se utiliza para todo tipo de mezclas de concreto, y especialmente al destinado para piezas prefabricadas. Como el método mencionado anteriormente, para el diseño del concreto se parte de una cantidad de cemento, estipulada previamente, que suele establecerse en kilogramos de cemento por metro cúbico de concreto. Esta cantidad de cemento se debe utilizar en unidades de volumen, y para ello es necesario dividir el peso del cemento entre la densidad relativa del mismo. Con esta cantidad de cemento y las granulometrías de los agregados utilizados se procede al diseño del concreto deseado, tomando en cuenta una serie de factores como lo son: la consistencia del concreto, el tipo de agregado utilizado, el tamaño máximo del agregado, el tamaño de los granos del agregado, entre otros factores.

En este método para saber el porcentaje de agregado que se desea utilizar existen tres formas diferentes de estimarlo, las cuales se presentan a continuación:

- Por tanteos.
- Gráficamente.
- Por medio de los índices ponderados.

Para ilustrar con más claridad el funcionamiento de este método, se presentan en el Anexo N° 9 las fórmulas, variables y tablas requeridas para implementar estos métodos de diseños. Además, se presentan ejemplos ilustrativos de manera de conocer mejor la metodología de los mismos.

III.4. CEMENTO

El cemento utilizado para la elaboración del concreto normal en la planta La Bandera, es Cemento Pórtland Tipo I. Este tipo de cemento es el más usado en la fabricación de concreto, debido a las características del mismo y de su proceso de elaboración. Adicionalmente, existen otros tipos diferentes de cemento, utilizado cada una de ellos para condiciones especificas de construcción.

En esta investigación, se utilizó cemento Portland Tipo 1, en el Anexo N° 10 se presentan las propiedades tanto físicas como químicas de los componentes del cemento utilizado en la planta. Los datos de control de calidad del cemento que se presentan, son proporcionados directamente por la empresa fabricante del cemento, por lo que no se realizaron los ensayos normativos para determinar las propiedades de este material.

Dentro de un mismo tipo y clase de cemento, es posible encontrar una gran gama de calidades que dependen del proceso de fabricación. Los datos proporcionados por la empresa fabricante de cemento, son expresados como un promedio de valores obtenidos de diferentes moliendas, por lo que estos no son representativos de un lote específico. Debido a lo antes expuesto, es posible encontrar en el tipo de cemento utilizado, diferentes propiedades físicas y químicas las cuales no se reflejan en los reportes presentados.

Uno de los factores importantes en la calidad del cemento es la Finura, ya que este factor, tiene gran influencia en el desarrollo de la resistencia del concreto a diferentes edades. Como el cemento es un polvo demasiado fino para poder determinar el tamaño de sus partículas por un procedimiento granulométrico basado en tamices, la finura del cemento se determina

mediante el aparato Blaine de permeabilidad; por tanto la unidad usada en finura es la Blaine (cm^2/gr).

En la fabricación de cemento, la molienda muy fina del clinker, se refleja directamente en el desarrollo de altas resistencias a edades tempranas. Por esta razón, es necesario tener en cuenta que si bien la finura hace que se tengan altas resistencias a tempranas edades, influye menos sobre las resistencias finales. Por lo tanto, entre dos productos de igual calidad tendrá ventajas (dentro de ciertos límites) el molido más fino, el cual, en principio, revelará esta ventaja con resistencias más altas a edades tempranas.

Usualmente, los cementos se muelen a finura Blaine del orden de 2800 a 3500 cm^2/gr. Cuando se sobrepasan los 4000 cm^2/gr, y dependiendo de la composición del cemento, se empiezan a presentar en el concreto problemas secundarios, como lo son dificultades de mezclado y mayor retracción. Estos inconvenientes, unidos al elevado costo de molienda, limitan la finura del cemento.

III.5. ADITIVO

El aditivo utilizado en esta investigación es el **Daratard 17 (D-17)**, fabricado por la empresa GRACE Construction Products, el cual es una solución a base de agua de compuestos orgánicos hidroxilados. Estos ingredientes son mezclados en la fabrica en las proporciones exactas para minimizar su manejo y eliminar los errores. Cumple con las especificaciones de las normas ASTM 494 Tipo B y Tipo D.

El Daratard 17, es un aditivo que retarda el fraguado inicial y final del concreto elaborado en planta. Al utilizarse en la dosificación normal de cemento (195 ml/100 kg de cemento), el tiempo de fraguado del concreto se extiende de 2 a 3 horas a una temperatura promedio de 23 °C. El aditivo deberá utilizarse cuando un retraso de tiempo de fraguado asegure suficiente tiempo para la transportación, colocación y consolidación del concreto, tal como en:

- Concreto colocado en altas temperaturas.
- Concreto transportado a largas distancias.
- Concreto preforzado o prefabricado.

Este aditivo, además de retardar el fraguado, proporciona una reducción de agua (típicamente de 8 a 10%) en la mezcla de concreto, lo cual a su vez genera una reducción del parámetro α del diseño de la mezcla, ocasionando así una reducción de cemento y, por tanto, una reducción de costos. Esta acción reductora de agua produce una mayor plasticidad y trabajabilidad en el concreto fresco, mejora la resistencia y disminuye la permeabilidad del concreto endurecido.

III.6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

III.6.1. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS

- **Equipo Menor:** Comprende todas las herramientas livianas utilizadas para la elaboración y ensayo de las probetas, tales como: cucharones, cuchara de albañil, guantes, cinta métrica, cepillos de alambre, espátulas y barra compactadora de acero, cilíndrica, de 16 mm. de diámetro por 600 mm. de longitud y punta semi esférica de 8 mm de radio. (Norma COVENIN 338, 339, 340 y 341). (Anexo N° 12)

- **Cono de Abrams:** Construido de un material metálico rígido e inatacable por el concreto, con un espesor mínimo de 1,5 mm. Su forma interior debe la de un cono truncado de 200 $\pm$ 2 mm de diámetro de base mayor, 100 $\pm$ 2 mm de diámetro de base menor y 300 $\pm$ 2 mm de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. El molde debe ser provisto de asas y aletas para su manejo. Para este ensayo se requiere de una plancha metálica de material similar al del cono, cuyas dimensiones no están especificadas pero se recomienda que su área sea lo suficientemente grande para cubrir la base inferior del cono; y sirve como base para el mismo e impide la pérdida de agua entre la superficie de ésta y el cono; (Norma COVENIN 339). (Anexo N° 13)

- **Moldes Cilíndricos:** Construidos de un material metálico rígido, estanco de superficie interior lisa, no absorbente y que no reaccione con el concreto. Provistos de una base metálica del mismo material de la pared del molde, con la que se consiga un cierre hermético, y provista de asas laterales para su manejo. El molde debe tener dimensiones de 152,5 $\pm$ 2,5 mm de diámetro y 305 $\pm$ 6 mm de altura (Norma COVENIN 338).

- **Moldes para Vigas:** Fabricados de un material metálico rígido, no reactivo al concreto. Deben tener dispositivos que aseguren entre sí las diferentes partes del molde, así como estas a la placa metálica de base, de tal manera que el conjunto resulte estanco, para así evitar la perdida de agua de la muestra. Las dimensiones del molde deben ser de 150x150x600 mm. (Norma COVENIN 340).

- **Dispositivo para Ensayar Vigas a Flexión con Cargas a los tercios del tramo:** Fabricado completamente en acero, y que cumpla con todas las especificaciones dispuestas en la norma COVENIN 342. (Anexo N° 14)

- **Dispositivo para Ensayar Probetas Cilíndricas a Tracción Indirecta:** Estructura fabricada completamente en acero, y que cumpla con todas las especificaciones dispuestas en la norma COVENIN 341. (Anexo N° 15)

- **Carretillas:** Construidas en láminas de acero soldadas para evitar la pérdida de agua de la mezcla. Utilizadas para el acarreo del concreto y con una capacidad de 60 lts.

- **Prensa Hidráulica:** Marca Forney, capacidad máxima de carga de 125.000 kg. Dispone de una perilla para ajustar la velocidad de aplicación de carga, y una pantalla digital con una aproximación de 10 kg. (Anexo N° 16)

III.6.2. TOMA DE MUESTRAS (Vigas y Cilindros)

La toma de muestras se realiza según las especificaciones establecidas en la norma COVENIN 344, "Concreto Fresco. Toma de Muestras". Se realizaron 15 tomas de muestras para cada condición de ensayo según lo establece la norma COVENIN 1976-87, "Evaluación de los Métodos de Resistencia del Concreto", con el objeto de que el estudio estadístico tenga validez.

Las tomas se realizaron directamente a cada camión despachado en la planta (Anexo N° 17), utilizando tres carretillas con una capacidad aproximada de 180 lts por toma. Con cada una de éstas se elaboraron ocho (8) cilindros y cuatro (4) vigas, con la finalidad de ensayar dos (2) cilindros a compresión, dos (2) a tracción indirecta y dos (2) vigas a flexión, a los 7 y 28 días de curado respectivamente.

III.6.3. MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO CON EL CONO DE ABRAMS

La norma COVENIN 339, contempla el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto fresco en obra y en laboratorio.

Éste método se realiza antes de elaborar las probetas cilíndricas y prismáticas, para lo cual es necesario humedecer el interior del cono así como la placa metálica donde se va a colocar, con la finalidad de que el concreto no quede adherido a la superficie del cono y que este no absorba el agua contenida en la mezcla. Se debe homogeneizar la muestra de concreto utilizando el cucharón antes de iniciar el procedimiento tal como lo indica la norma COVENIN 344.

El molde se sujeta firmemente por las aletas con los pies, y se procede a llenar con la muestra de concreto, vaciando ésta en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen total del molde. Cada capa es compactada con veinticinco (25) golpes de la barra compactadora, distribuidos uniformemente, en forma de espiral desde el perímetro hacia el centro, en toda la sección transversal de cada una de ellas. Las capas se deben compactar en su espesor respectivo de modo que la barra penetre ligeramente en la capa inmediata inferior.

El molde se llena por exceso antes de compactar la última capa, luego se enrasa usando la barra compactadora o cuchara de albañilería. Inmediatamente se retira el molde alzándolo cuidadosamente en dirección vertical, evitando movimientos laterales o de torsión. Ésta operación debe realizarse en un tiempo aproximado de 5 a 10 seg.

El asentamiento se mide inmediatamente después de retirar el molde, se voltea el mismo y se determina por la diferencia entre la altura promedio de la base superior del cono de concreto deformado y la altura del molde. Para facilitar esta medición, se dispone sobre la base del cono la barra compactadora en posición horizontal y se procede a medir el asentamiento, desde la posición de la barra hasta la base superior del cono de concreto. (Anexo Nº 18)

III.6.4. ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS

Para la elaboración de las probetas (Norma COVENIN 338), se procede inicialmente a limpiar los moldes metálicos con el uso del cepillo de alambre y la espátula, con el fin de eliminar cualquier impureza o residuos de concreto adheridos a los mismos. Posteriormente se les aplica un aceite lubricante en su interior, para garantizar un acabado de las probetas adecuado y facilitar el desencofrado de éstas.

Una vez limpios los moldes, se ubican en un lugar donde queden libres de perturbaciones y protegidos de la intemperie durante las primeras 20 a 24 horas de fraguado.

El vaciado del concreto en los moldes, se realiza en tres (3) capas de igual volumen aproximadamente (1/3 del volumen total cada capa). Se debe compactar cada capa con 25 golpes utilizando la barra compactadora, uniformemente distribuidos en la sección transversal del molde. Cada capa se compacta en toda su profundidad tratando de no penetrar con la barra en más de tres (3) cm en la capa inmediatamente inferior. Seguidamente los moldes se golpean suavemente con la barra compactadora en su superficie exterior, para evitar que queden vacíos de aire en el concreto. (Anexo Nº 19)

Después de compactar, se procede a enrasar las probetas con una cuchara de albañilería de manera que la superficie de éstas queden perfectamente lisas y al ras con el borde del molde.

III.6.5. ELABORACIÓN DE PROBETAS PRISMÁTICAS (Vigas)

Los moldes para la elaboración de vigas, deben estar limpios y tanto su superficie interior, como su base, deben estar lubricadas usando para ello aceites vegetales; este procedimiento debe realizarse de forma similar al descrito anteriormente para probetas cilíndricas.

Según la norma COVENIN 340, El vaciado del concreto en estas probetas se realiza en dos capas de igual volumen aproximadamente (1/2 del volumen total cada capa). Cada una de ellas se debe compactar aplicando 75 golpes con la barra compactadora, distribuidos uniformemente sobre toda el área transversal de la probeta. Las capas se compactan en todo su espesor cuidando que la barra no penetre en más de tres (3) cm la capa inferior. (Anexo N° 20)

Los moldes se golpean suavemente con la barra compactadora, en sus paredes externas para evitar la posible presencia de vacíos de aire en la muestra. Luego se enrasan con una cuchara de albañilería de manera que la superficie de éstas queden perfectamente lisas y al ras con el borde del molde.

III.6.6. CURADO DE PROBETAS CILÍNDRICAS Y PRISMÁTICAS

Una vez elaboradas las probetas deben protegerse de la pérdida de agua por evaporación y evitar la retracción del concreto, cubriéndolas adecuadamente con un material impermeable, durante las primeras 24 horas de fraguado. Los moldes deben mantenerse en una superficie horizontal rígida, libre de vibraciones y de otras perturbaciones. (Anexo N° 21)

Las probetas deben retirarse de los moldes en un lapso de tiempo comprendido entre 20 y 48 horas después de su elaboración, y se almacenarán hasta el momento de ensayo (7 y 28 días)

directamente bajo agua potable, limpia, exenta de materiales extraños, saturada de cal y con una temperatura de 23 ± 1,5 °C. (Anexo Nº 22)

III.6.7. ENSAYOS DE PROBETAS

Antes de la ejecución de los ensayos, las probetas se retiraron de la piscina de curado dejándolas secar de 3 a 4 horas. Esto es necesario, ya que las probetas deben estar completamente secas antes de realizar los ensayos. (Anexo Nº 23)

III.6.7.1. ENSAYO DE CILINDROS DE CONCRETO A COMPRESIÓN

Las caras a compresión del cilindro, deben ser rematas de tal forma que sean paralelas entre sí, para esto se utiliza un mortero de azufre, llamado capping, el cual debe tener una resistencia mínima de 300 kg/cm^2 a las 2 horas de ser aplicado, y una adherencia adecuada entre éste y el concreto. Las superficies a compresión deben ser visiblemente planas y horizontales, sin grumos, ralladuras o defectos visibles.

Los cilindros se colocan en la prensa de ensayo, se centran cuidadosamente y se inicia la aplicación de carga (Ver Anexo Nº 24), en este momento se procede a ajustar la velocidad del ensayo según lo establecido en la norma COVENIN 338. Tanto las superficies rematadas de los cilindros como los platos de la prensa, deben estar exentas de polvo, grasa y cualquier otro material extraño.

Se aplica la carga sobre la probeta, a velocidad constante (según norma COVENIN 338) hasta alcanzar la falla por compresión del cilindro, tomando la lectura máxima del dial de carga aplicada.

III.6.7.2. ENSAYO DE CILINDROS DE CONCRETO A TRACCIÓN INDIRECTA

Para este ensayo se utiliza un dispositivo que permite aplicar la carga sobre el eje axial de la probeta, en este se colocan dos tiras de madera contra enchapada de 3 mm de espesor, 15 mm de ancho y una longitud mayor a la de la probeta, con el objeto de nivelar pequeñas irregularidades en la superficie del cilindro en contacto con el dispositivo.

El conjunto cilindro-dispositivo, es colocado y alineado cuidadosamente en la prensa. Debido al poco desplazamiento del cabezal de la prensa, se utiliza un suplemento cilíndrico de acero, el cual debe estar centrado en conjunto con la probeta, por debajo del centro de aplicación de carga de la base.

Se inicia la aplicación de carga, a velocidad constante según la norma COVENIN 341 (Anexo N° 25) hasta alcanzar la falla por tracción de la probeta, tomando la lectura máxima del dial de carga aplicada.

III.6.7.3. ENSAYO DE VIGAS DE CONCRETO A TRACCIÓN POR FLEXIÓN

Para realizar este ensayo es necesario colocar sobre el cabezal de la prensa el dispositivo para el ensayo a flexión, con aplicación de cargas a los tercios del tramo central. Se voltea la probeta sobre uno de sus lados, con respecto a la posición inicial de vaciado, y se centra con respecto a los puntos de apoyo de la viga con el dispositivo.

Se aplica la carga a una velocidad uniforme y sin impacto, de forma rápida hasta aproximadamente el 50 % de la carga de rotura, después de lo cual se aplica una velocidad tal que el aumento del esfuerzo en la fibra inferior no exceda los valores especificados en la norma COVENIN 342. La carga se aplica hasta la fractura total del elemento, tomando la última lectura del dial de carga. (Anexo N° 26)

La separación entre las rótulas de apoyo del dispositivo de ensayo es de 550 mm, y entre las rótulas de aplicación de carga de 183 mm.

III.7. METODOLOGÍA USADA EN EL ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de realizar los ensayos destructivos a las probetas y obtener la carga de rotura correspondiente para cada una de ellas, se determinaron los esfuerzos para cada tipo de ensayo. Según la norma COVENIN 338 para la resistencia a compresión, COVENIN 341 para la resistencia a tracción indirecta en cilindros, y COVENIN 342 para la resistencia a tracción por flexión en vigas.

Los esfuerzos resultantes y los promedios de cada pareja se muestran en el Anexo N° 27 indicándose, además, la fecha de elaboración y ensayo de las probetas, así como las dimensiones de las mismas y los valores de asentamiento obtenidos en cada muestra. Para simplificar los datos se genero la tabla N° 6 donde se indican los promedios de los esfuerzos resultantes para cada tipo de ensayo.

Con los valores de la tabla N° 6, se generaron gráficos de dispersión (también llamados cartas de control), donde se relacionan la resistencia obtenida en cada ensayo contra el número de muestras; y a su vez se comparan los valores con la media de las resistencias (gráficos N° 1.1 a 1.18), de manera de ilustrar la variabilidad de los resultados en cada tipo de ensayo.

Se elaboraron las tablas N° 7.1. a 7.18, en las cuales se presentan los parámetros estadísticos propuestos en el marco teórico (Capítulo II, II.9), para cada edad y tipo de ensayo, y para cada diseño de mezcla.

Se graficaron los histogramas de frecuencias, para cada edad, tipo de ensayo y diseño de mezcla (gráficos N° 2.1. a 2.18). Posteriormente se graficaron los curvas normalizadas para cada histograma, usando el software estadístico **SPCSS**, el cual se encuentra disponible en las salas de computación de la UCAB.

El aspecto más importante en éste estudio estadístico es establecer las correlaciones entre las variables analizadas. Para ello, se realizaron en un sistema de coordenadas cartesianas o rectangulares, gráficos de dispersión entre los resultados de los ensayos a compresión vs. tracción indirecta; compresión vs. flexión y tracción indirecta vs. flexión. Estos gráficos de dispersión se elaboran con la finalidad de realizar el análisis de regresión entre variables para así obtener las curvas de mejor ajuste y permitir establecer la relación existente entre los conjuntos de valores de resistencias (gráficos 3.1 a 3.9). Para la selección de las curvas de correlación, se tomó en cuenta el coeficiente de determinación $\mathbf{R^2}$, basado en el criterio de que el valor de $\mathbf{R^2}$ sea más cercano a uno, lo que implica la relación entre variables es la de mejor ajuste. Después de haber calculado todos los casos de curvas posibles, mencionados en el marco teórico, se plantea la tabla N° 8 con las curvas de correlación obtenidas, con sus coeficientes de determinación, correlación y el error de la estima.

A todas las gráficas de correlaciones, se les cálculo el error de la estima para cada caso particular, con el objeto de graficar las ecuaciones de tendencia propuestas en conjunto con el error obtenido, para así, tener un parámetro con que medir la confiabilidad de las correlaciones. En la tabla N° 9, se presentan los porcentajes de puntos que se encuentran dentro de los márgenes de error propuestos.

Se elaboro las gráfica N° 5 , en la cual se relacionan las resistencias obtenidas a flexión y tracción indirecta, con la cantidad de cemento utilizadas para cada diseño de mezcla estudiado.

Adicionalmente, se presentan:

En el Anexo N° 28, el factor de crecimiento de las resistencias estudiadas, el desarrollo de las resistencias a compresión, tracción indirecta y flexión.

En el Anexo N° 29, las gráficas de desarrollo de las resistencias en estudio, entre los ensayos a 7 y 28 días, y las medias de cada resistencia expresadas en porcentaje.

En el Anexo N° 30, las gráficas de relación entre el módulo de rotura obtenido a través de los ensayos a flexión, y el módulo de rotura al evaluar los resultados de los ensayos a tracción indirecta en la ecuación propuesta por Neville. Como relación patrón, se graficó una recta de pendiente igual a uno (1), con el objeto de representar la relación ideal entre ambas variables.

CAPÍTULO IV.

Análisis de Resultados

Tabla N° 6. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Probeta	N°	Asent. (pulg.)	Edad de Ensayo 7 días			Edad de Ensayo 28 días		
			Compresión (kg/cm^2)	Tracción (kg/cm^2)	Flexión (kg/cm^2)	Compresión (kg/cm^2)	Tracción (kg/cm^2)	Flexión (kg/cm^2)
Resistencia 210 kg/cm^2	1	5.1/4"	210.82	24.83	34.68	278.22	31.89	44.99
	2	5.3/4"	163.88	19.90	32.45	221.15	26.58	42.59
	3	5.3/4"	213.73	22.43	34.63	253.83	28.23	41.31
	4	4.3/4"	223.81	23.04	34.06	244.01	30.35	40.58
	5	4.3/4"	232.55	24.23	34.14	291.01	27.84	37.89
	6	5.1/4"	189.83	22.49	32.92	265.65	28.50	36.83
	7	4.1/4"	193.50	21.24	31.37	250.37	28.27	37.24
	8	3.3/4"	188.21	20.22	30.39	243.61	28.17	39.19
	9	6.3/4"	152.17	19.47	30.47	290.52	28.04	36.67
	10	3"	206.77	23.94	34.63	245.17	31.05	39.27
	11	4"	173.44	19.59	31.61	250.71	27.16	37.48
	12	6"	174.89	21.57	31.13	247.77	27.89	36.26
	13	6.1/2"	194.18	24.19	32.92	259.29	28.87	38.79
	14	7"	188.69	23.24	32.84	254.05	28.21	38.46
	15	4"	174.26	21.27	30.15	233.57	25.61	36.18
Resistencia 250 kg/cm^2	1	4.3/4"	229.72	25.49	31.21	273.26	32.55	46.53
	2	4"	234.64	25.02	36.10	300.14	28.49	40.99
	3	3"	194.69	23.63	33.16	262.99	30.52	37.16
	4	3.3/4"	227.54	26.89	34.39	303.06	33.41	42.61
	5	4.1/2"	231.05	25.00	35.93	286.99	31.70	41.39
	6	4.1/4"	248.14	26.82	35.44	328.81	32.22	43.43
	7	4"	254.65	26.94	35.61	306.51	32.99	43.43
	8	4.1/4"	261.98	27.71	35.53	344.57	30.95	41.47
	9	3"	219.17	22.68	36.99	269.50	29.39	39.84
	10	5.3/4"	181.85	23.60	32.59	279.57	28.95	37.07
	11	3.3/4"	246.64	26.22	35.69	265.91	29.91	42.29
	12	6.3/4"	203.15	20.51	35.61	242.74	30.32	40.99
	13	7"	228.53	24.86	36.50	279.83	30.54	42.04
	14	5.1/4"	206.01	20.58	35.93	247.09	30.78	39.44
	15	4.3/4"	234.02	23.90	35.69	313.98	28.99	38.87
Resistencia 280 kg/cm^2	1	3.1/2"	218.43	26.75	36.34	320.49	36.32	46.12
	2	4.1/2"	274.85	30.56	39.60	345.61	36.78	49.79
	3	4.1/2"	242.85	28.74	37.97	327.02	36.16	47.10
	4	4.1/2"	218.57	27.06	37.24	296.15	36.49	45.08
	5	4"	268.51	28.03	37.73	332.88	34.44	42.61
	6	4.1/2"	267.27	29.95	38.62	336.95	36.30	48.56
	7	4.1/2"	226.07	26.62	38.21	282.04	37.36	42.29
	8	6"	278.39	30.72	35.69	354.36	34.85	44.73
	9	5.1/2"	192.00	24.18	37.40	268.99	35.99	41.72
	10	2.1/2"	306.03	33.13	38.38	334.07	35.42	43.10
	11	2.1/2"	307.73	32.87	40.99	370.68	36.29	44.00
	12	4.3/4"	299.35	30.08	37.07	349.49	36.22	48.16
	13	6"	278.22	31.13	40.01	339.53	35.27	48.89
	14	4"	243.02	27.99	36.67	329.17	36.00	47.42
	15	3.3/4"	219.82	26.50	37.16	296.61	35.08	42.78

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS 210 kg/cm^2
7 DÍAS

Tabla 7.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	8,89
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	22,47
MEDIANA (kg/cm^2)	189,83
MEDIA (kg/cm^2)	192,05
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	232,55
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	152,17
RANGO (kg/cm^2)	80,38
VARIANZA	504,79

Tabla 7.2. TRACCIÓN INDIRECTA

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	1,24
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	1,80
MEDIANA (kg/cm^2)	22,43
MEDIA (kg/cm^2)	22,11
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	24,83
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	19,47
RANGO (kg/cm^2)	5,36
VARIANZA	3,25

Tabla 7.3. MÓDULO DE ROTURA

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	1,42
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	1,58
MEDIANA (kg/cm^2)	32,84
MEDIA (kg/cm^2)	32,56
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	34,68
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	30,15
RANGO (kg/cm^2)	4,53
VARIANZA	2,50

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS 210 kg/cm^2
28 DÍAS

Tabla 7.4. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	4,83
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	19,41
MEDIANA (kg/cm^2)	250,71
MEDIA (kg/cm^2)	255,26
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	291,01
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	221,15
RANGO (kg/cm^2)	69,86
VARIANZA	376,78

Tabla 7.5. TRACCIÓN INDIRECTA

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	0,96
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	1,62
MEDIANA (kg/cm^2)	28,21
MEDIA (kg/cm^2)	28,44
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	31,89
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	25,61
RANGO (kg/cm^2)	6,29
VARIANZA	2,62

Tabla 7.6.MÓDULO DE ROTURA

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	1,78
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	2,52
MEDIANA (kg/cm^2)	38,46
MEDIA (kg/cm^2)	38,91
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	44,99
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	36,18
RANGO (kg/cm^2)	8,81
VARIANZA	6,35

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS 250 kg/cm^2
7 DÍAS

Tabla 7.7. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	6,62
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	22,53
MEDIANA (kg/cm^2)	229,72
MEDIA (kg/cm^2)	226,79
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	261,98
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	181,85
RANGO (kg/cm^2)	80,13
VARIANZA	507,65

Tabla 7.8. TRACCIÓN INDIRECTA

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	1,38
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	2,20
MEDIANA (kg/cm^2)	25,00
MEDIA (kg/cm^2)	24,66
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	27,71
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	20,51
RANGO (kg/cm^2)	7,19
VARIANZA	4,86

Tabla 7.9. MÓDULO DE ROTURA

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	1,81
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	1,58
MEDIANA (kg/cm^2)	35,61
MEDIA (kg/cm^2)	35,09
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	36,99
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	31,21
RANGO (kg/cm^2)	5,79
VARIANZA	2,51

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS 250 kg/cm^2
28 DÍAS

Tabla 7.10. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	8,12
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	29,45
MEDIANA (kg/cm^2)	279,83
MEDIA (kg/cm^2)	287,00
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	344,57
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	242,74
RANGO (kg/cm^2)	101,83
VARIANZA	867,41

Tabla 7.11. TRACCIÓN INDIRECTA

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	0,90
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	1,53
MEDIANA (kg/cm^2)	30,54
MEDIA (kg/cm^2)	30,78
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	33,41
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	28,49
RANGO (kg/cm^2)	4,92
VARIANZA	2,34

Tabla 7.12. MÓDULO DE ROTURA

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	1,74
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	2,48
MEDIANA (kg/cm^2)	41,39
MEDIA (kg/cm^2)	41,17
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	46,53
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	37,07
RANGO (kg/cm^2)	9,45
VARIANZA	6,16

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS 280 kg/cm^2
7 DÍAS

Tabla 7.13. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	6,07
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	36,00
MEDIANA (kg/cm^2)	267,27
MEDIA (kg/cm^2)	256,07
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	307,73
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	192,00
RANGO (kg/cm^2)	115,72
VARIANZA	1296,12

Tabla 7.14. TRACCIÓN INDIRECTA

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	0,61
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	2,54
MEDIANA (kg/cm^2)	28,74
MEDIA (kg/cm^2)	28,95
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	33,13
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	24,18
RANGO (kg/cm^2)	8,95
VARIANZA	6,43

Tabla 7.15. MÓDULO DE ROTURA

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	1,28
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	1,43
MEDIANA (kg/cm^2)	37,73
MEDIA (kg/cm2)	37,94
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	40,99
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	35,69
RANGO (kg/cm^2)	5,30
VARIANZA	2,03

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS 280 kg/cm^2
28 DÍAS

Tabla 7.16. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	8,57
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	28,19
MEDIANA (kg/cm^2)	332,88
MEDIA (kg/cm^2)	325,60
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	370,68
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	268,99
RANGO (kg/cm^2)	101,69
VARIANZA	794,92

Tabla 7.17. TRACCIÓN INDIRECTA

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	1,25
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	0,78
MEDIANA (kg/cm^2)	36,16
MEDIA (kg/cm^2)	35,93
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	37,36
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	34,44
RANGO (kg/cm^2)	2,92
VARIANZA	0,60

Tabla 7.18. MÓDULO DE ROTURA

DESVIACIÓN PROMEDIO (kg/cm^2)	1,20
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm^2)	2,70
MEDIANA (kg/cm^2)	45,08
MEDIA (kg/cm^2)	45,49
VALOR MÁXIMO (kg/cm^2)	49,79
VALOR MÍNIMO (kg/cm^2)	41,72
RANGO (kg/cm^2)	8,07
VARIANZA	7,29

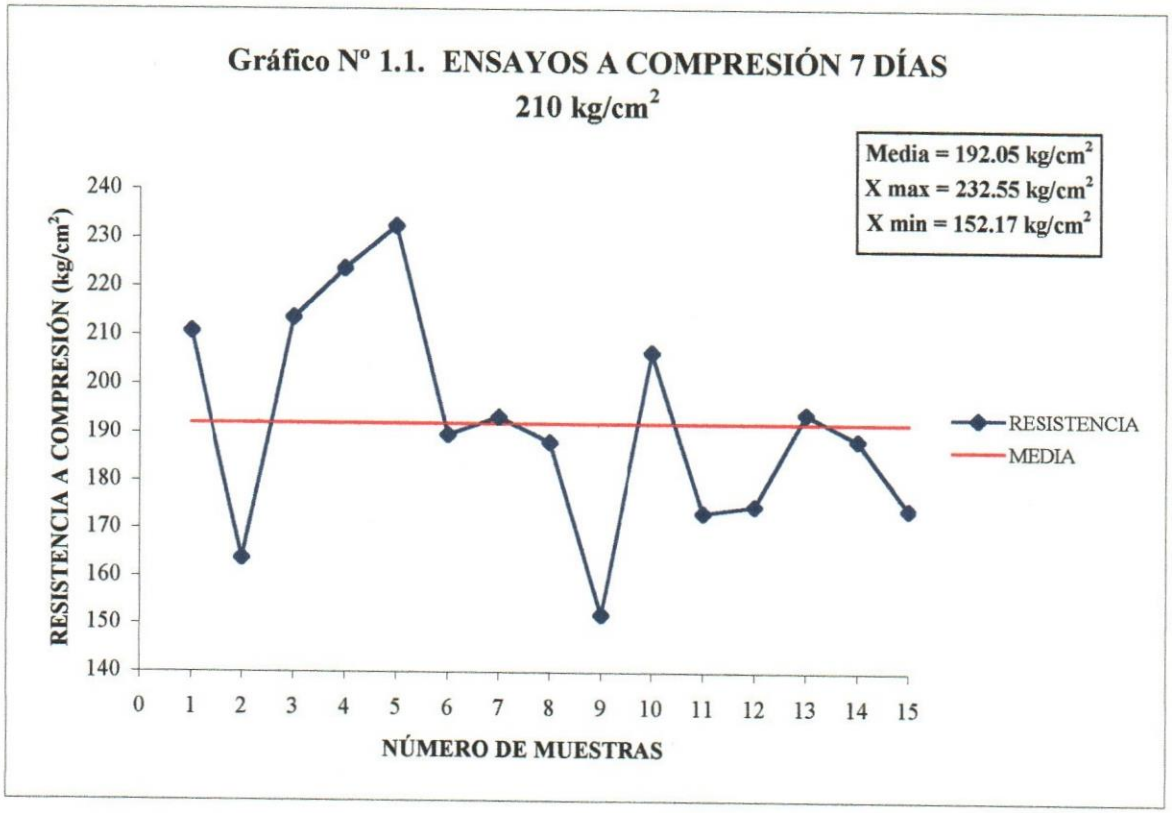


Gráfico Nº 1.1. ENSAYOS A COMPRESIÓN 7 DÍAS
210 kg/cm²
Media = 192.05 kg/cm²
X max = 232.55 kg/cm²
X min = 152.17 kg/cm²
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm²)
240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
140
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
RESISTENCIA
MEDIA

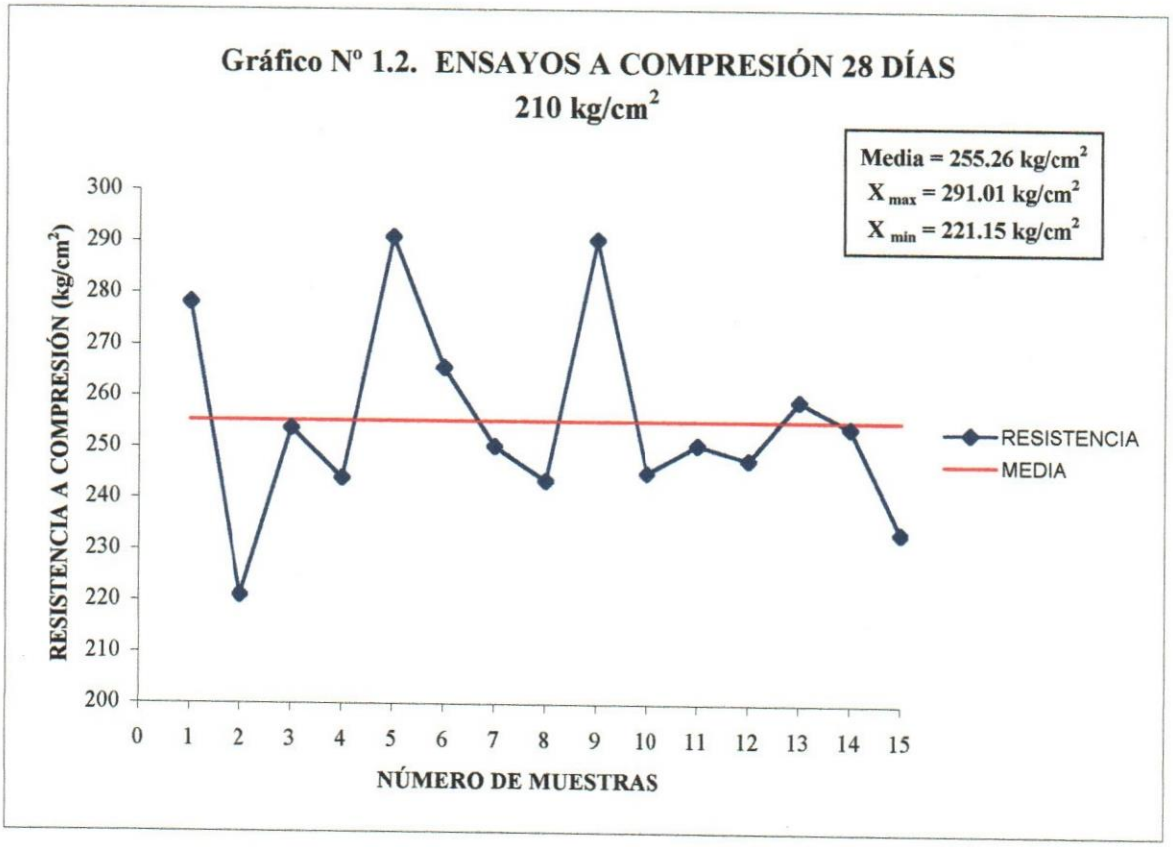


Gráfico Nº 1.2. ENSAYOS A COMPRESIÓN 28 DÍAS
210 kg/cm²
Media = 255.26 kg/cm²
X max = 291.01 kg/cm²
X min = 221.15 kg/cm²
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm²)
300
290
280
270
260
250
240
230
220
210
200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
RESISTENCIA
MEDIA

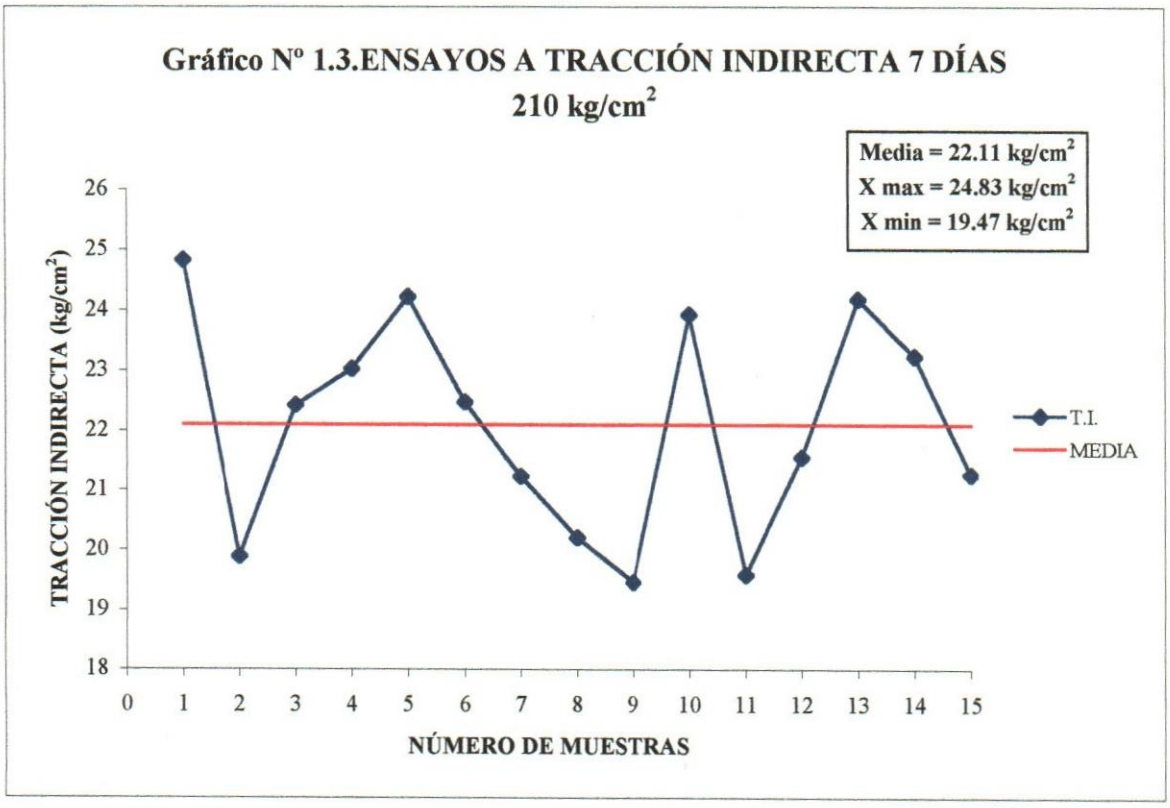


Gráfico Nº 1.3.ENSAYOS A TRACCIÓN INDIRECTA 7 DÍAS
210 kg/cm²
Media = 22.11 kg/cm²
X max = 24.83 kg/cm²
X min = 19.47 kg/cm²
TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm²)
26
25
24
23
22
21
20
19
18
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
T.I.
MEDIA

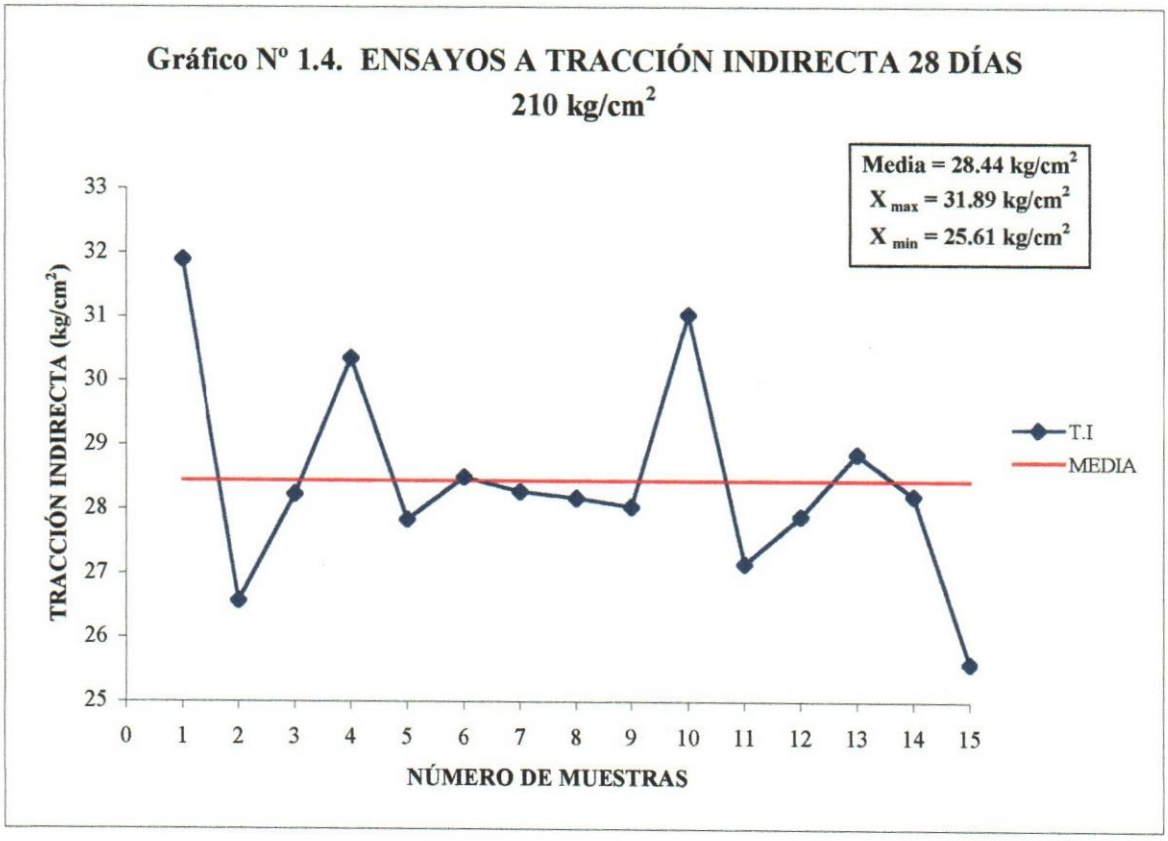


Gráfico Nº 1.4. ENSAYOS A TRACCIÓN INDIRECTA 28 DÍAS
210 kg/cm²
Media = 28.44 kg/cm²
X max = 31.89 kg/cm²
X min = 25.61 kg/cm²
TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm²)
33
32
31
30
29
28
27
26
25
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
T.I
MEDIA

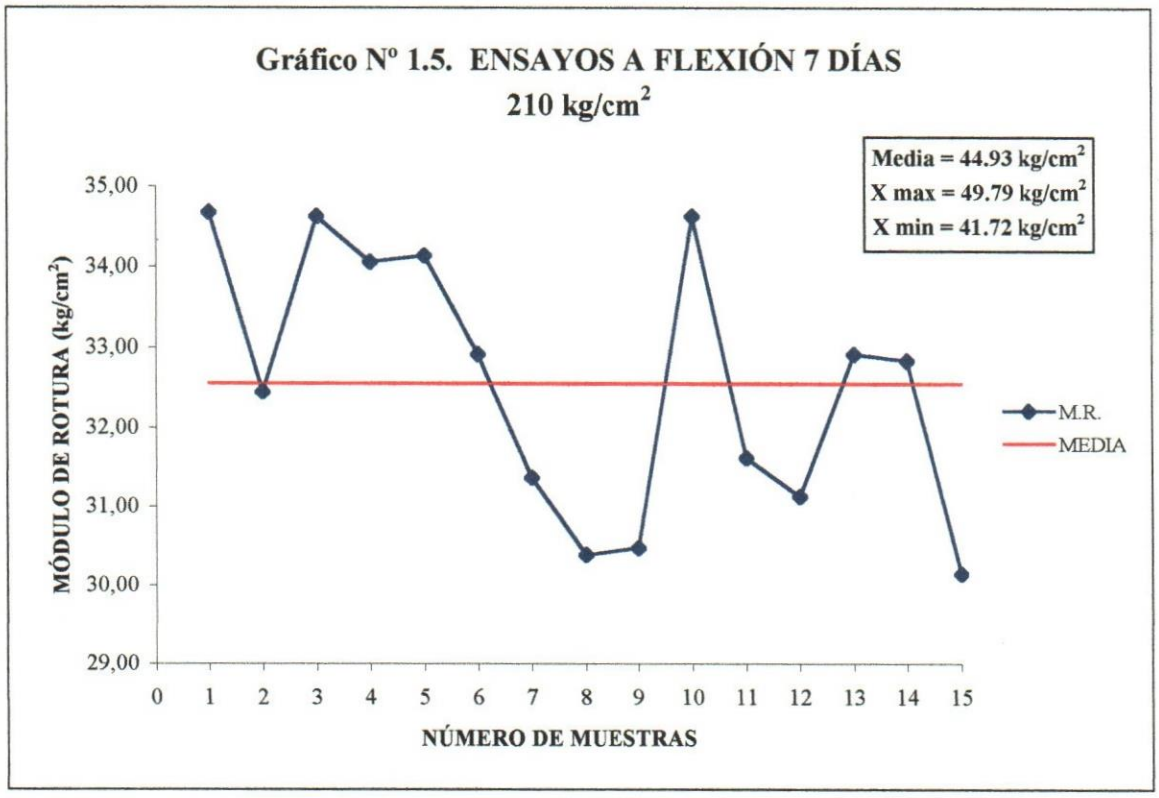


Gráfico Nº 1.5. ENSAYOS A FLEXIÓN 7 DÍAS
210 kg/cm²
Media = 44.93 kg/cm²
X max = 49.79 kg/cm²
X min = 41.72 kg/cm²
MÓDULO DE ROTURA (kg/cm²)
35,00
34,00
33,00
32,00
31,00
30,00
29,00
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
M.R.
MEDIA

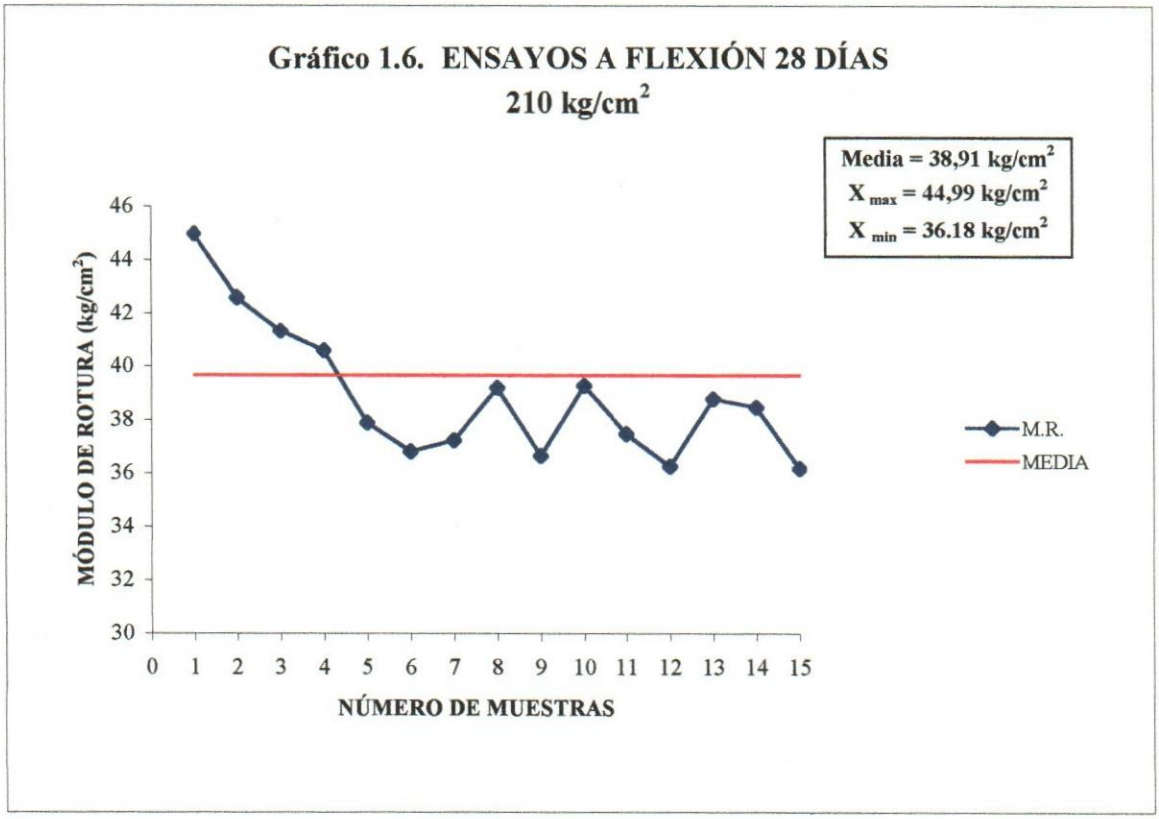


Gráfico 1.6. ENSAYOS A FLEXIÓN 28 DÍAS
210 kg/cm²
Media = 38,91 kg/cm²
X max = 44,99 kg/cm²
X min = 36.18 kg/cm²
MÓDULO DE ROTURA (kg/cm²)
46
44
42
40
38
36
34
32
30
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
M.R.
MEDIA

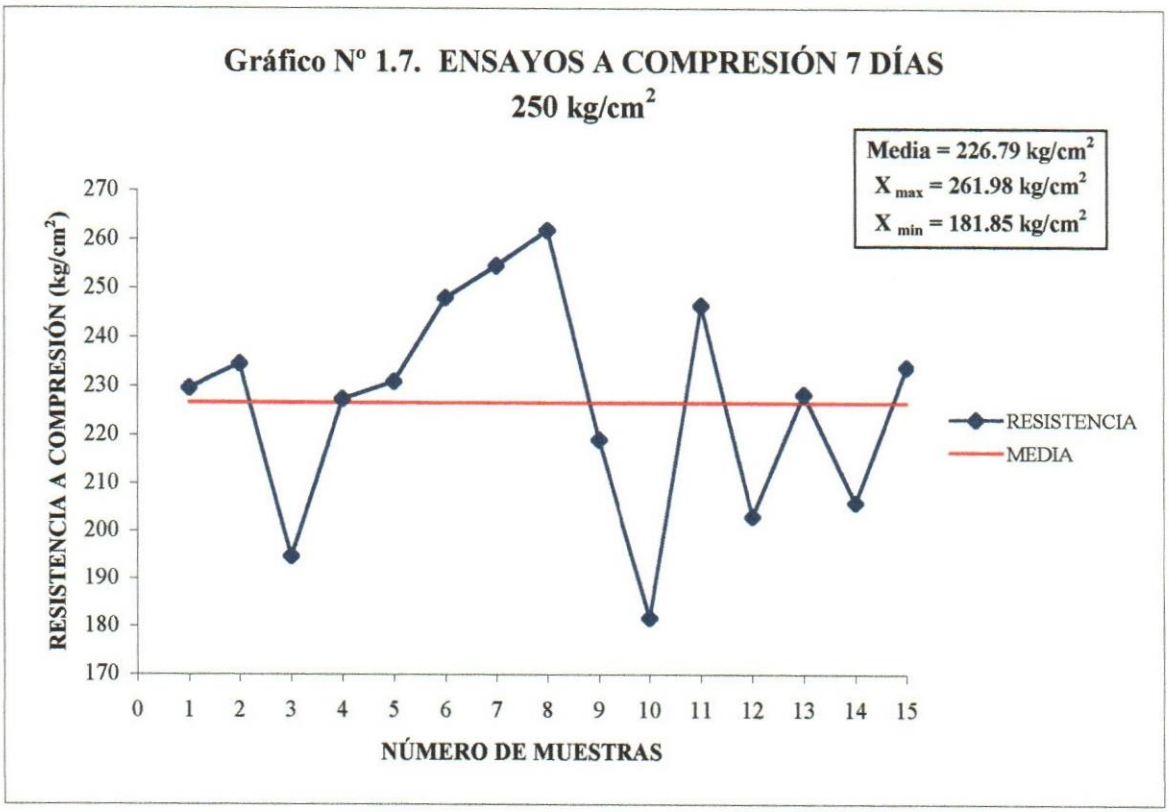


Gráfico Nº 1.7. ENSAYOS A COMPRESIÓN 7 DÍAS
250 kg/cm²
Media = 226.79 kg/cm²
X max = 261.98 kg/cm²
X min = 181.85 kg/cm²
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm²)
270
260
250
240
230
220
210
200
190
180
170
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
RESISTENCIA
MEDIA

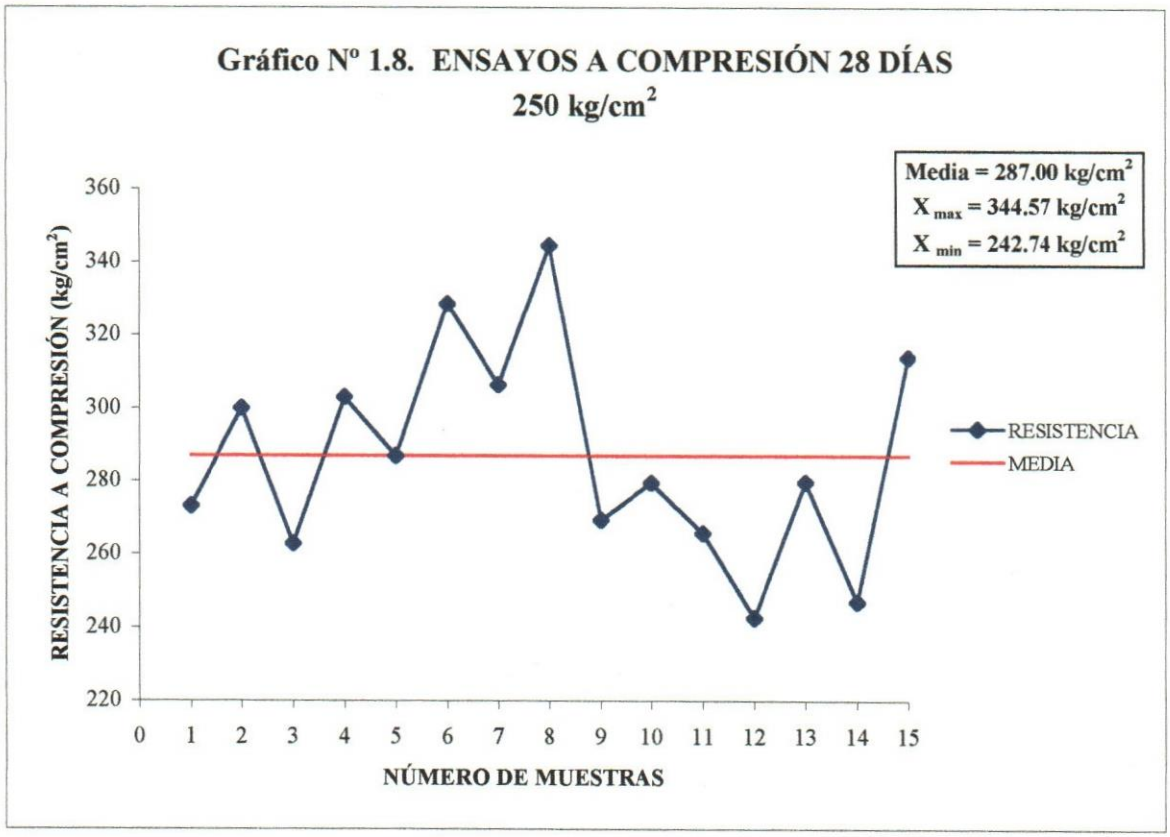


Gráfico Nº 1.8. ENSAYOS A COMPRESIÓN 28 DÍAS
250 kg/cm²
Media = 287.00 kg/cm²
X max = 344.57 kg/cm²
X min = 242.74 kg/cm²
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm²)
360
340
320
300
280
260
240
220
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
RESISTENCIA
MEDIA

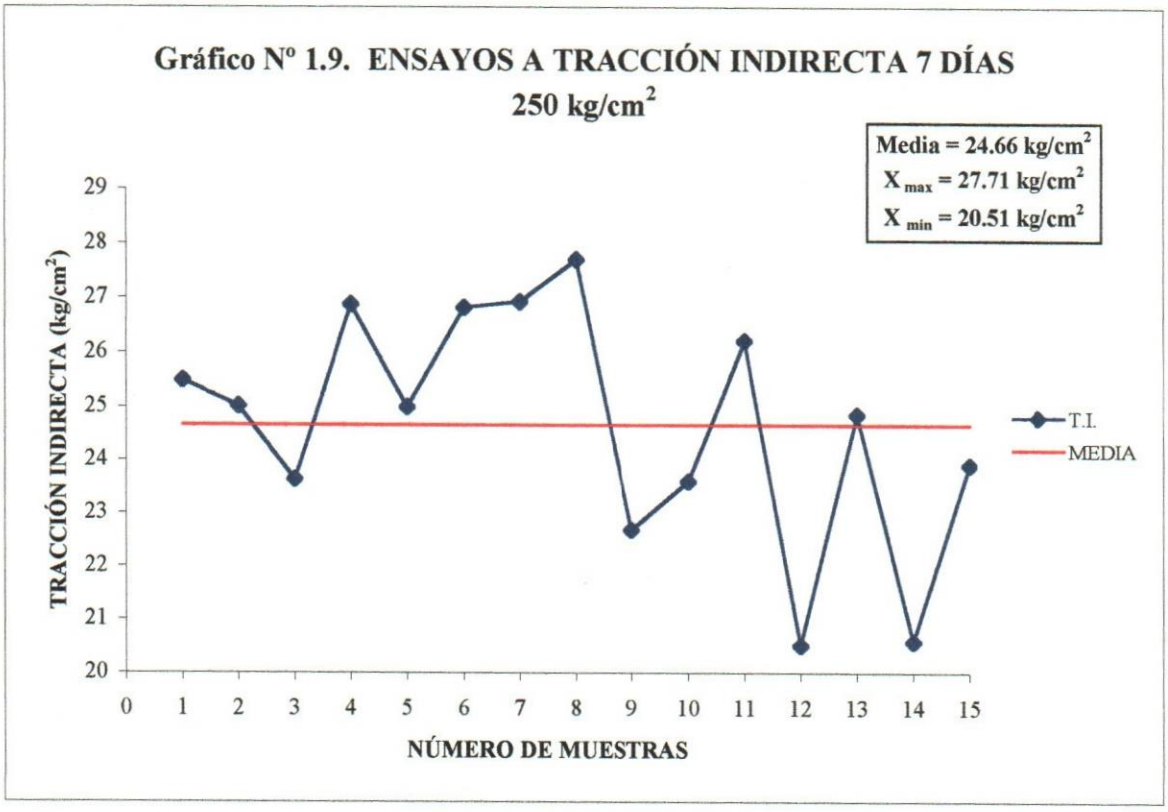


Gráfico Nº 1.9. ENSAYOS A TRACCIÓN INDIRECTA 7 DÍAS
250 kg/cm²
Media = 24.66 kg/cm²
X max = 27.71 kg/cm²
X min = 20.51 kg/cm²
TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm²)
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
T.I.
MEDIA

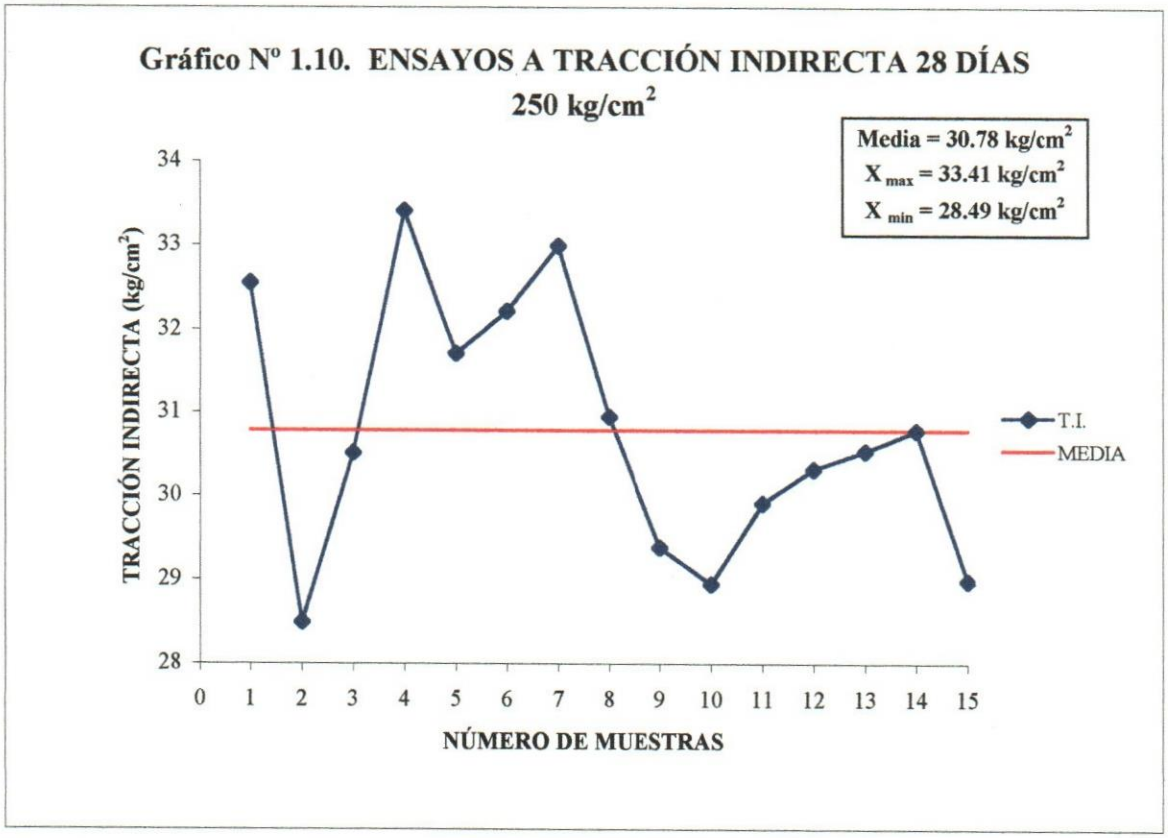


Gráfico Nº 1.10. ENSAYOS A TRACCIÓN INDIRECTA 28 DÍAS
250 kg/cm²
Media = 30.78 kg/cm²
X max = 33.41 kg/cm²
X min = 28.49 kg/cm²
TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm²)
34
33
32
31
30
29
28
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
T.I.
MEDIA

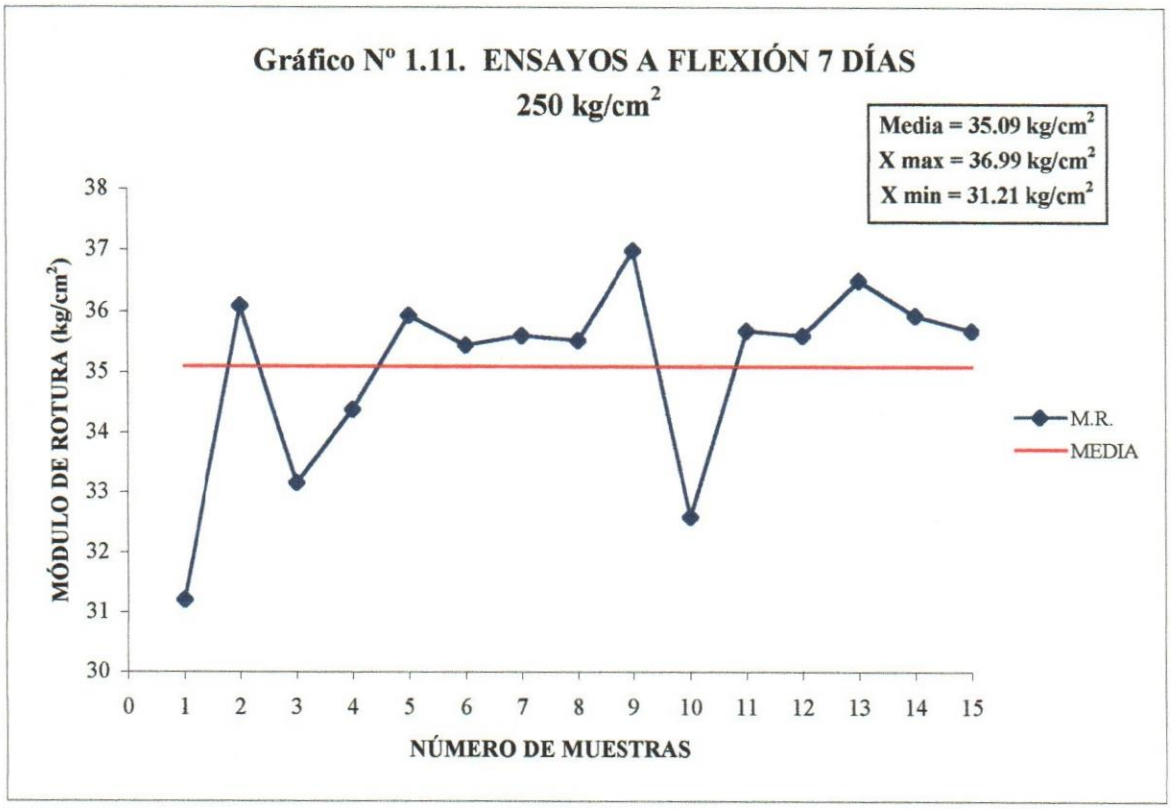


Gráfico Nº 1.11. ENSAYOS A FLEXIÓN 7 DÍAS
250 kg/cm²
Media = 35.09 kg/cm²
X max = 36.99 kg/cm²
X min = 31.21 kg/cm²
MÓDULO DE ROTURA (kg/cm²)
38
37
36
35
34
33
32
31
30
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
M.R.
MEDIA

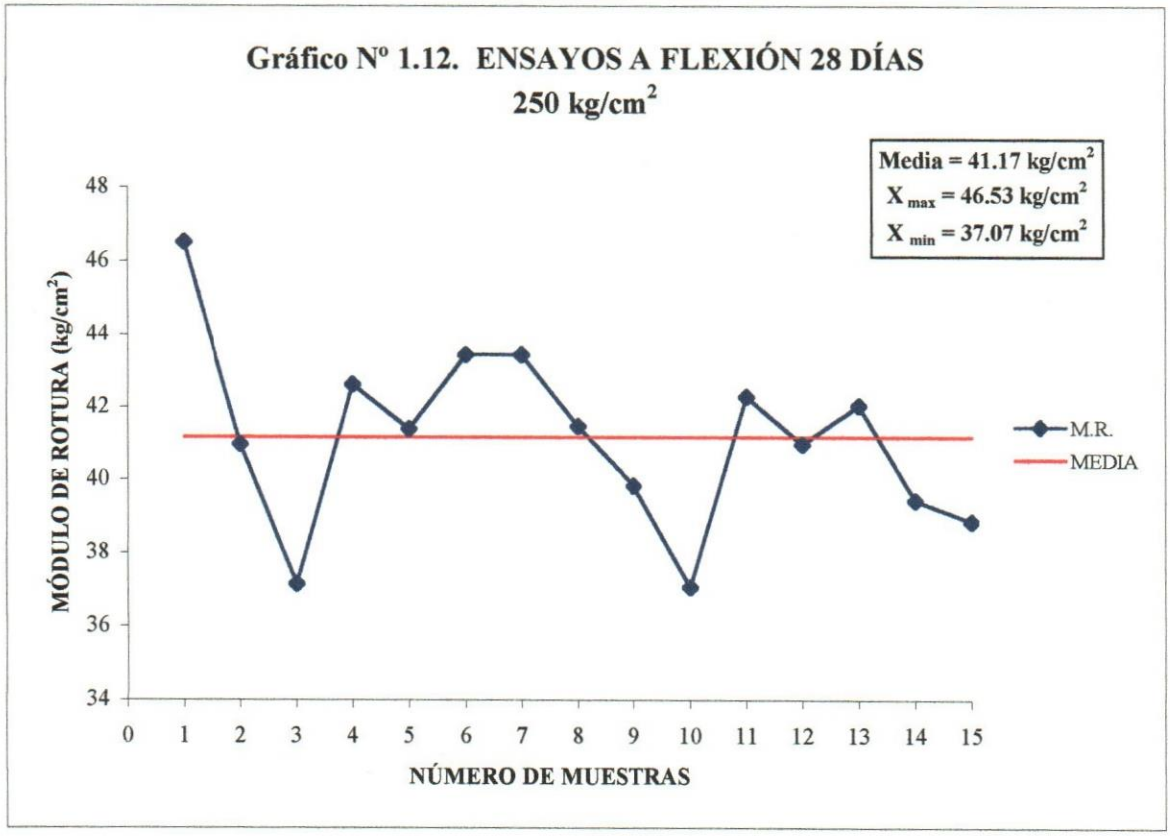


Gráfico Nº 1.12. ENSAYOS A FLEXIÓN 28 DÍAS
250 kg/cm²
Media = 41.17 kg/cm²
X max = 46.53 kg/cm²
X min = 37.07 kg/cm²
MÓDULO DE ROTURA (kg/cm²)
48
46
44
42
40
38
36
34
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
M.R.
MEDIA

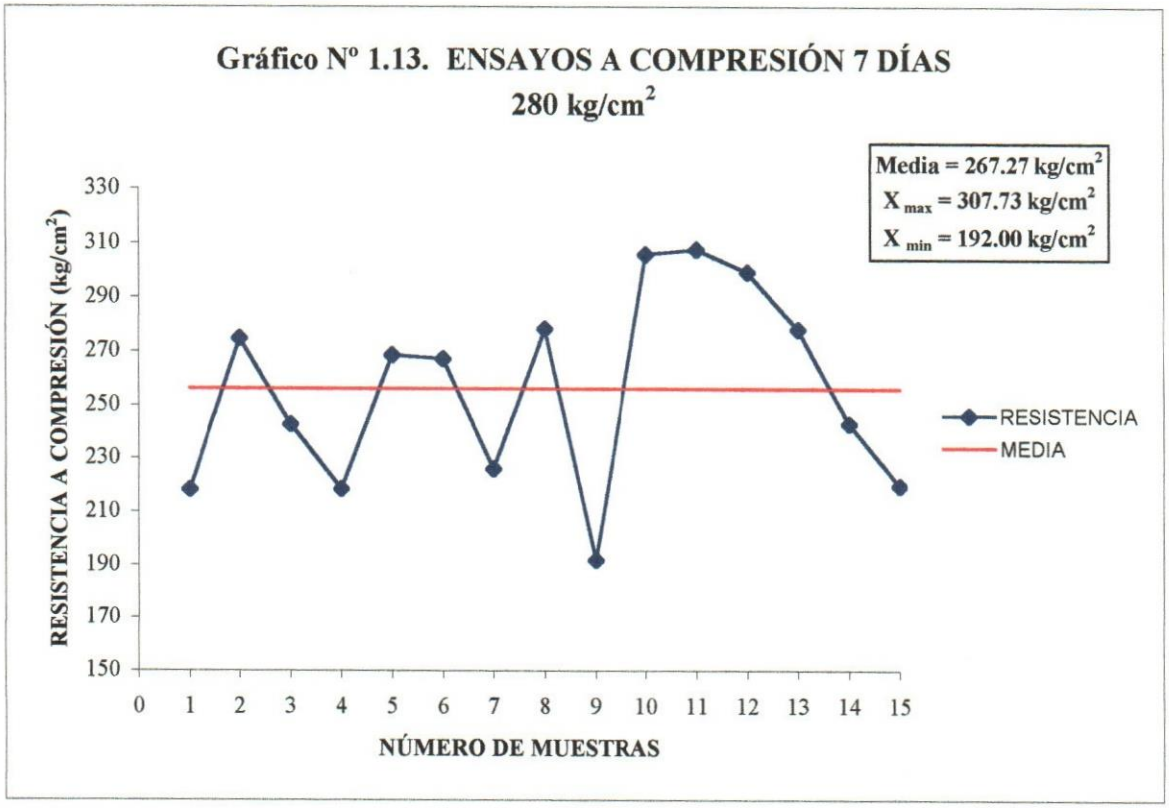


Gráfico Nº 1.13. ENSAYOS A COMPRESIÓN 7 DÍAS
280 kg/cm²
Media = 267.27 kg/cm²
X max = 307.73 kg/cm²
X min = 192.00 kg/cm²
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm²)
330
310
290
270
250
230
210
190
170
150
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
RESISTENCIA
MEDIA

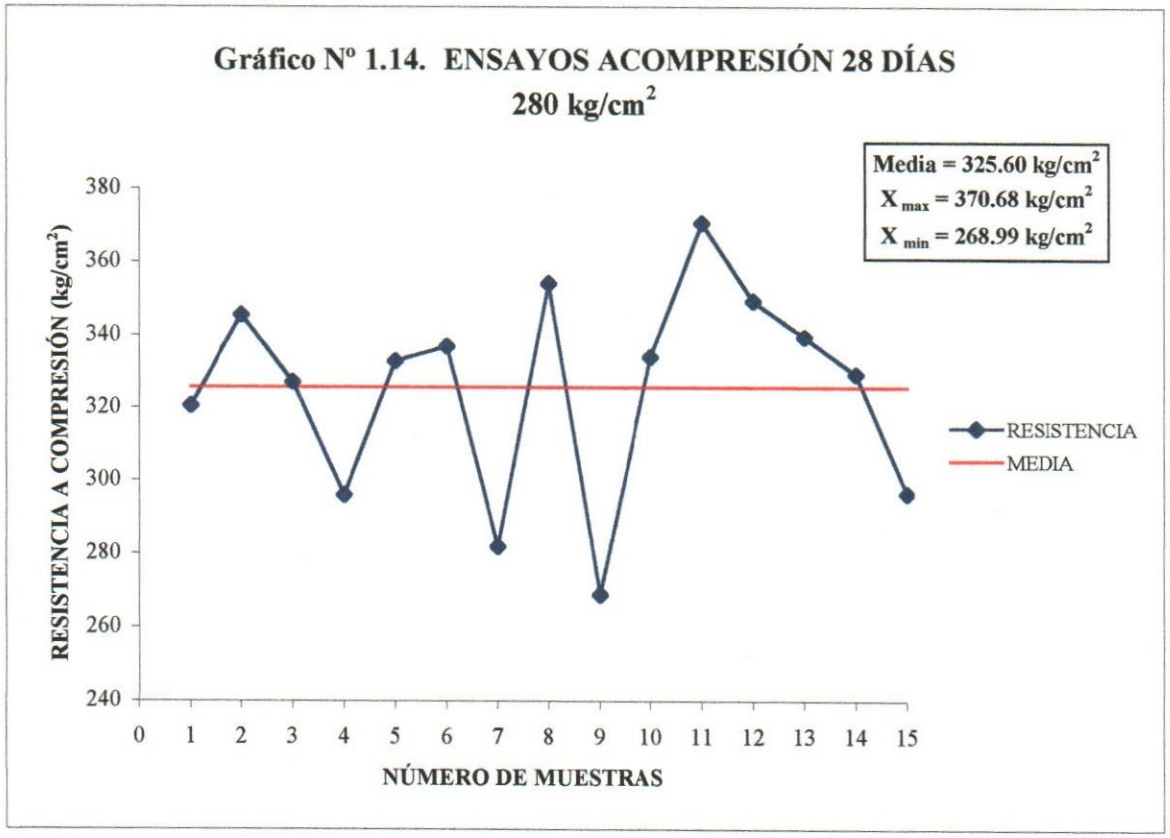


Gráfico Nº 1.14. ENSAYOS ACOMPRESIÓN 28 DÍAS
280 kg/cm²
Media = 325.60 kg/cm²
X max = 370.68 kg/cm²
X min = 268.99 kg/cm²
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm²)
380
360
340
320
300
280
260
240
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
RESISTENCIA
MEDIA

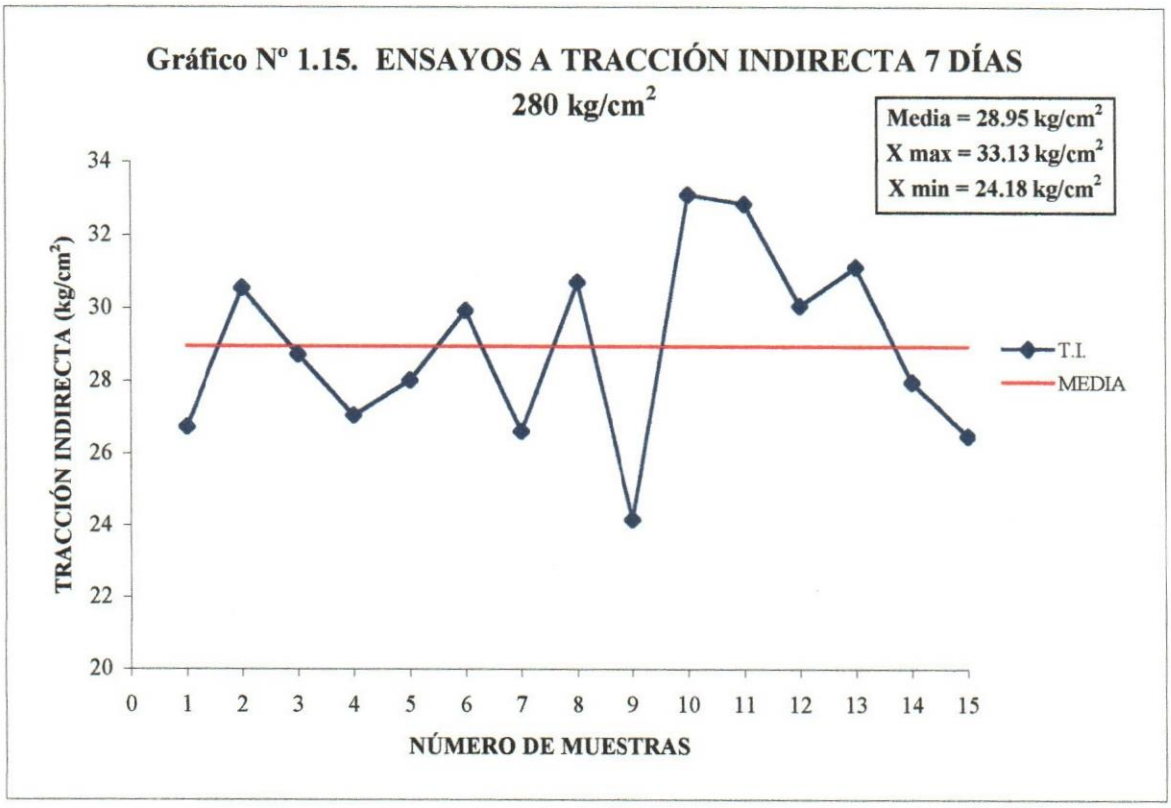


Gráfico Nº 1.15. ENSAYOS A TRACCIÓN INDIRECTA 7 DÍAS
280 kg/cm²
Media = 28.95 kg/cm²
X max = 33.13 kg/cm²
X min = 24.18 kg/cm²
TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm²)
34
32
30
28
26
24
22
20
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
T.I.
MEDIA

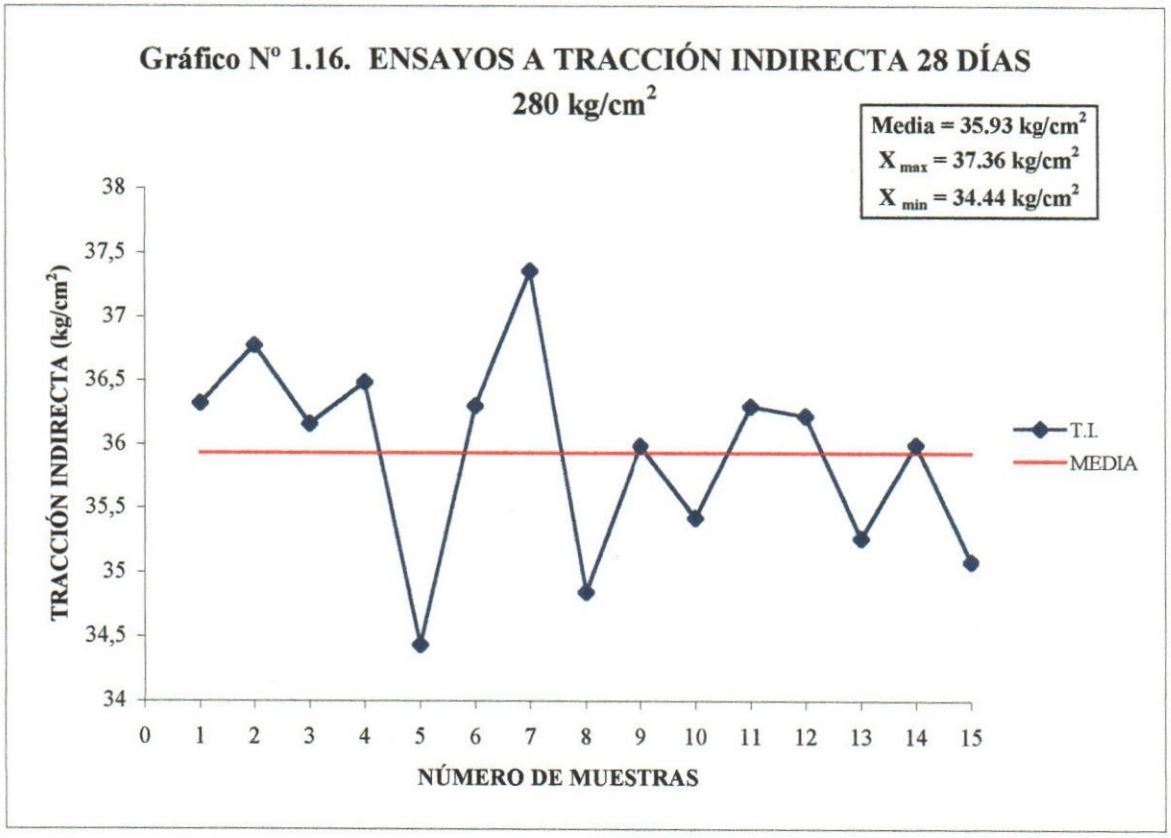


Gráfico Nº 1.16. ENSAYOS A TRACCIÓN INDIRECTA 28 DÍAS
280 kg/cm²
Media = 35.93 kg/cm²
X max = 37.36 kg/cm²
X min = 34.44 kg/cm²
TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm²)
38
37,5
37
36,5
36
35,5
35
34,5
34
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
T.I.
MEDIA

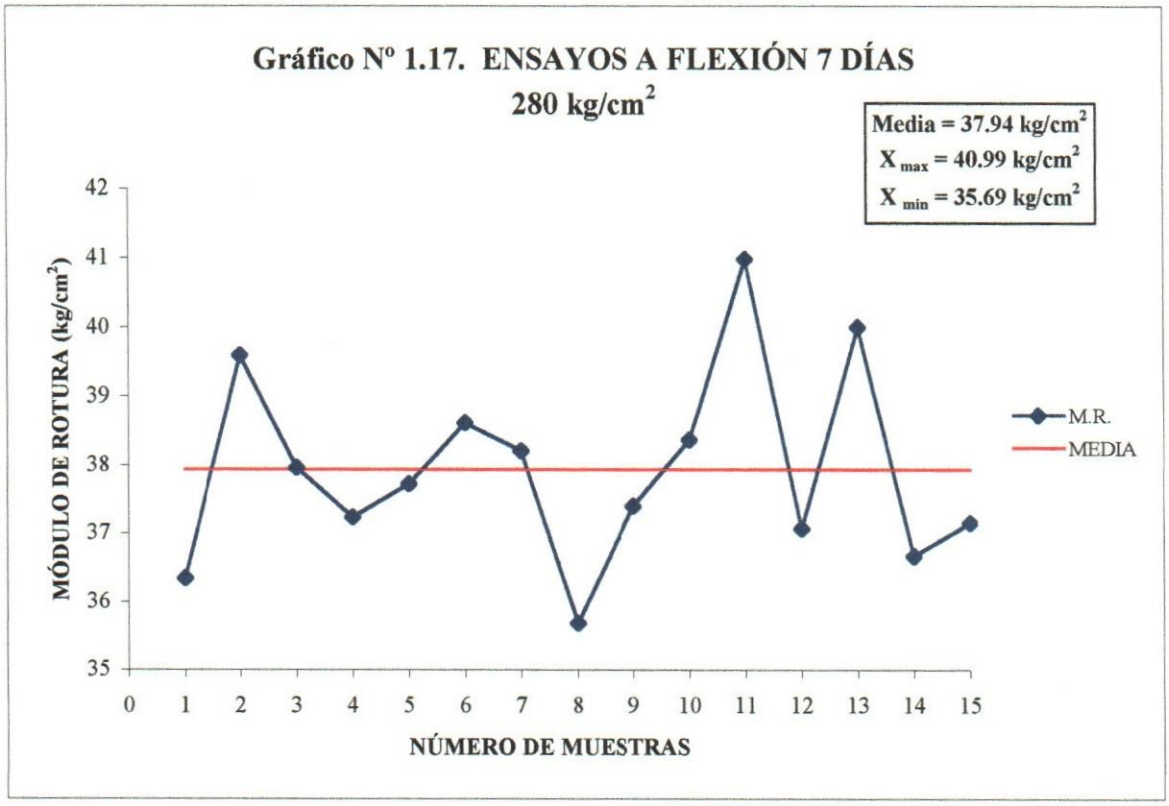


Gráfico Nº 1.17. ENSAYOS A FLEXIÓN 7 DÍAS
280 kg/cm²
Media = 37.94 kg/cm²
X max = 40.99 kg/cm²
X min = 35.69 kg/cm²
MÓDULO DE ROTURA (kg/cm²)
42
41
40
39
38
37
36
35
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
M.R.
MEDIA

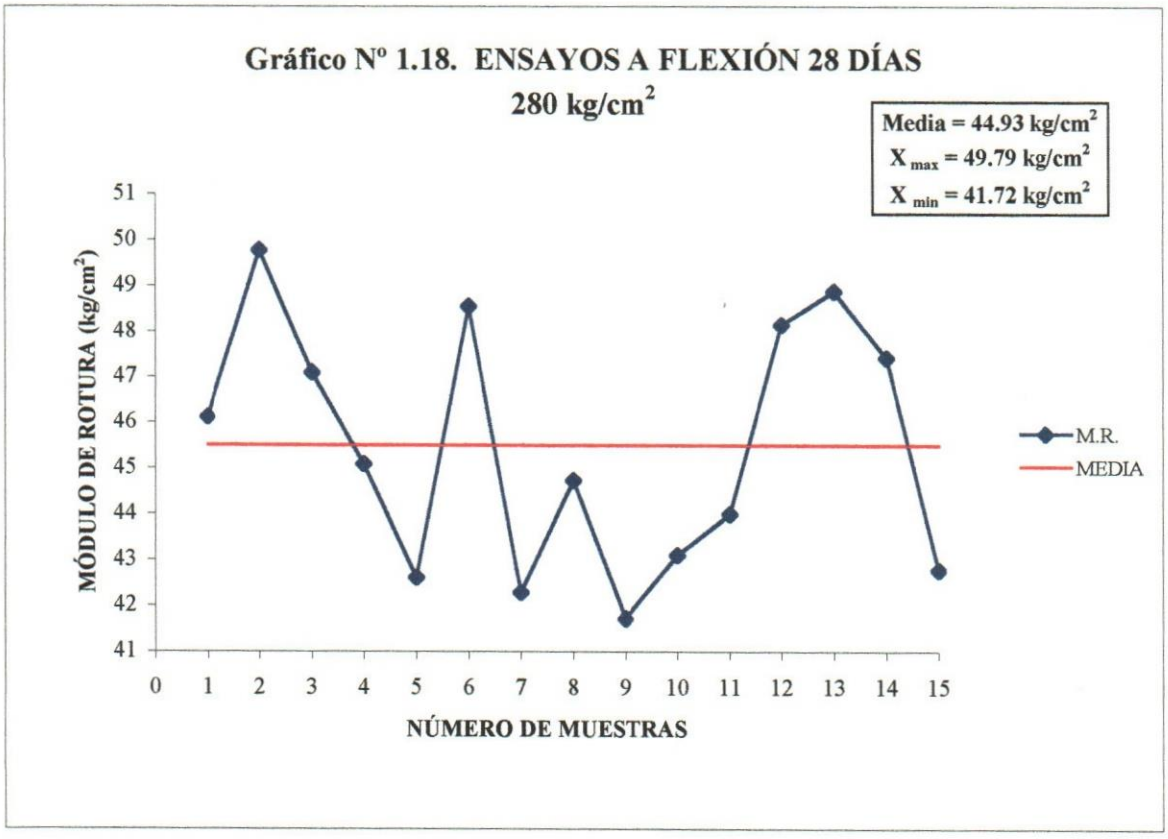


Gráfico Nº 1.18. ENSAYOS A FLEXIÓN 28 DÍAS
280 kg/cm²
Media = 44.93 kg/cm²
X max = 49.79 kg/cm²
X min = 41.72 kg/cm²
MÓDULO DE ROTURA (kg/cm²)
51
50
49
48
47
46
45
44
43
42
41
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
NÚMERO DE MUESTRAS
M.R.
MEDIA

Gráfico Nº 2.1. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS A COMPRESIÓN 7 DÍAS 210 kg/cm^2

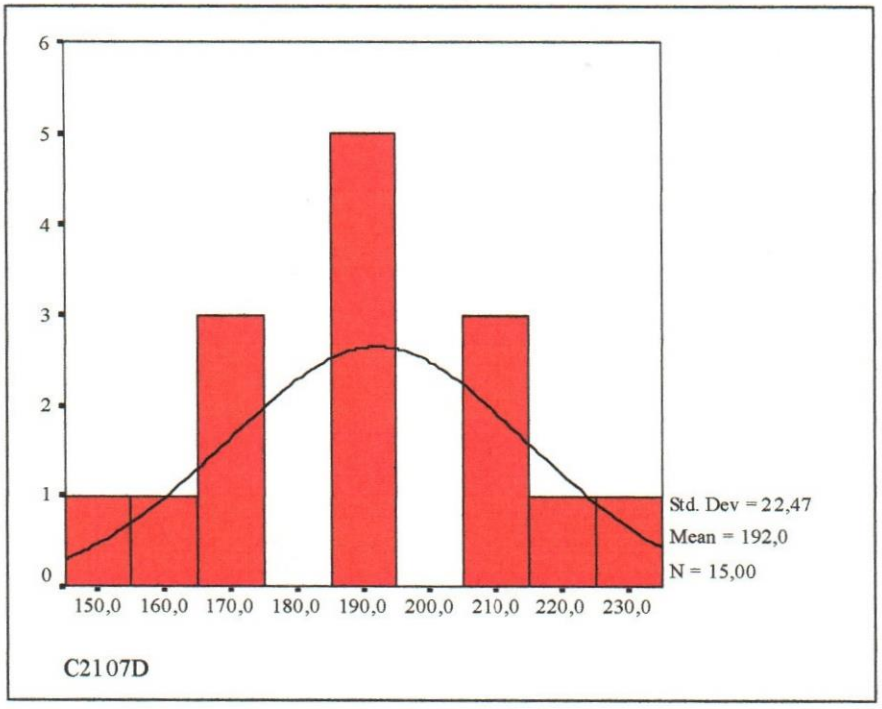


Gráfico Nº 2.2. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS COMPRESIÓN 28 DÍAS 210 kg/cm^2

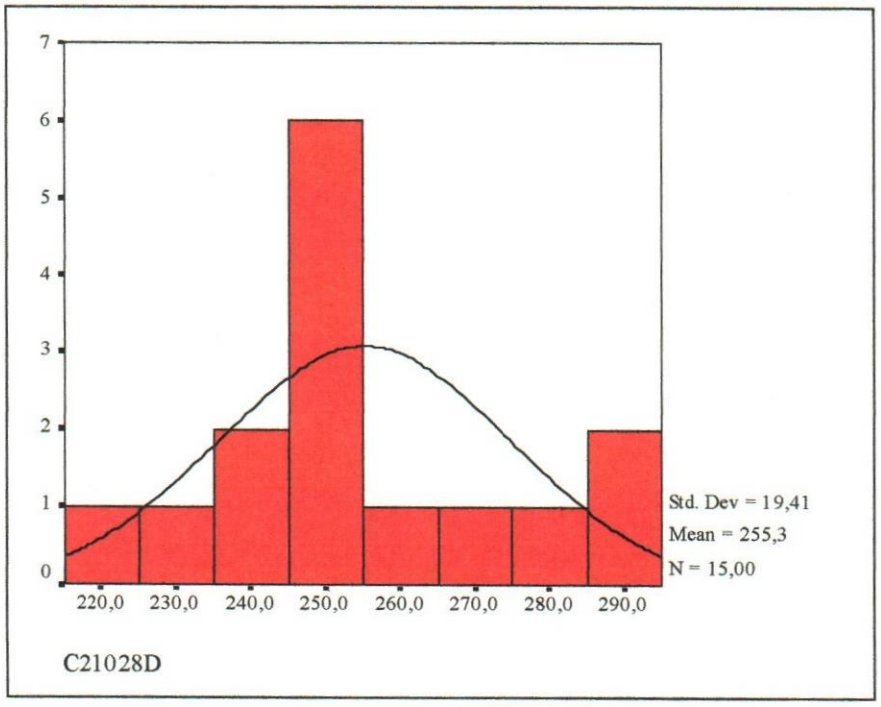


Gráfico Nº 2.3. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS TRACCIÓN INDIRECTA 7 DÍAS 210 kg/cm^2

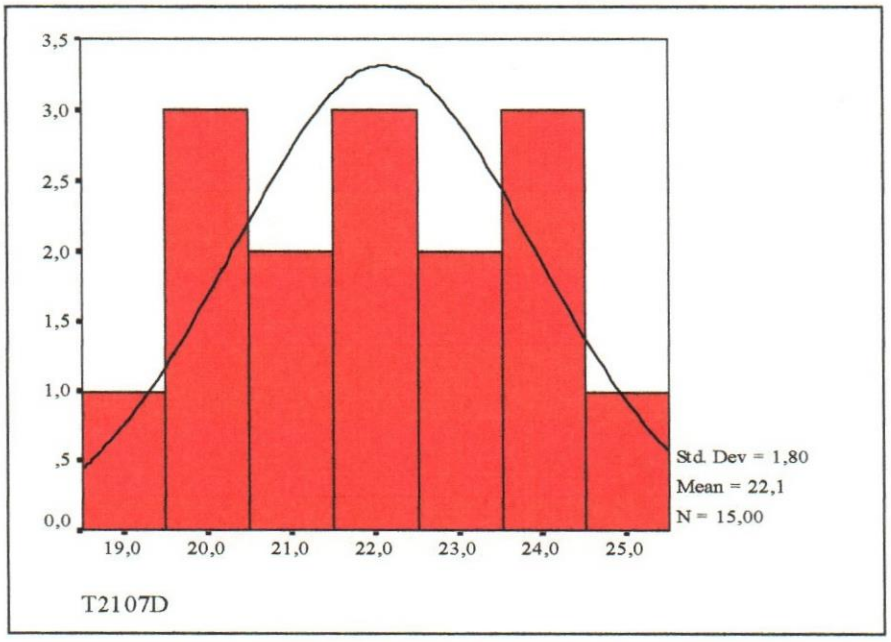


Gráfico Nº 2.4. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS TRACCIÓN INDIRECTA 28 DÍAS 210 kg/cm^2

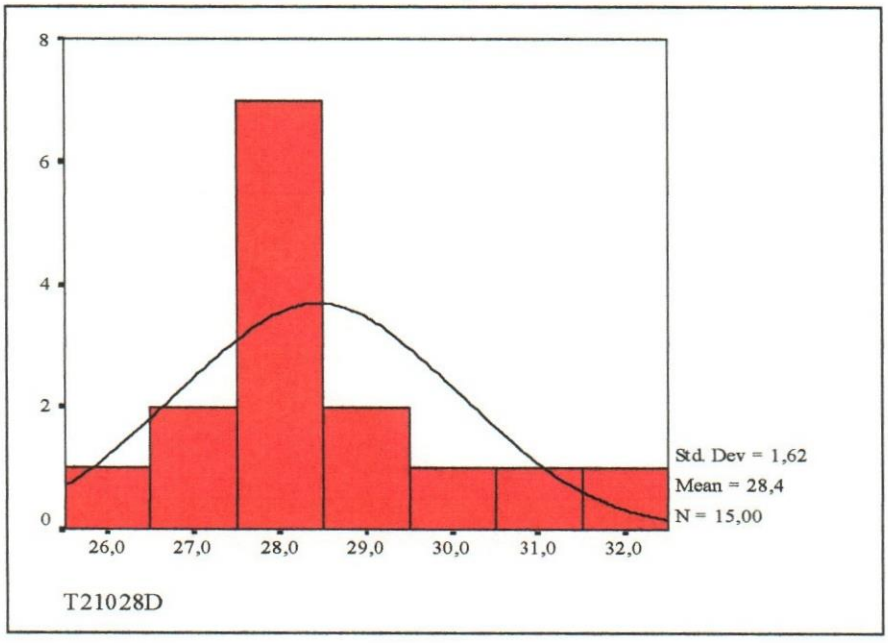


Gráfico Nº 2.5. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS MÓDULO DE ROTURA 7 DÍAS 210 kg/cm^2

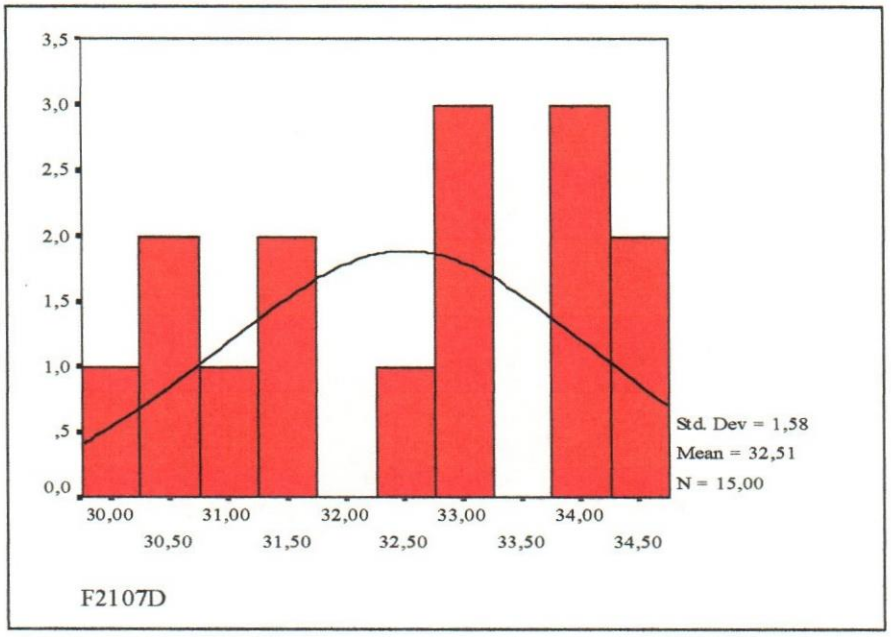


Gráfico Nº 2.6. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS MÓDULO DE ROTURA 28 DÍAS 210 kg/cm2

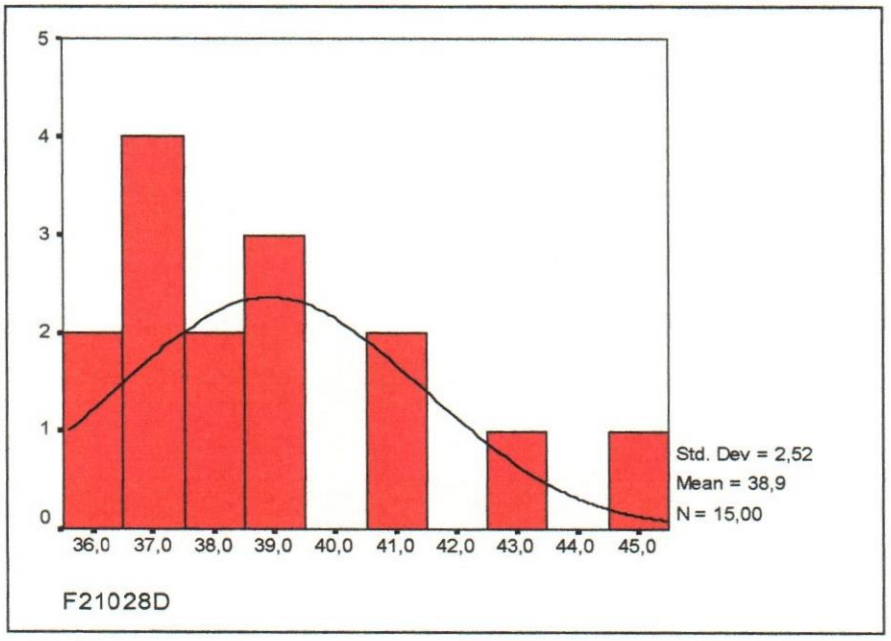


Gráfico Nº 2.7. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS COMPRESIÓN 7 DÍAS 250 kg/cm^2

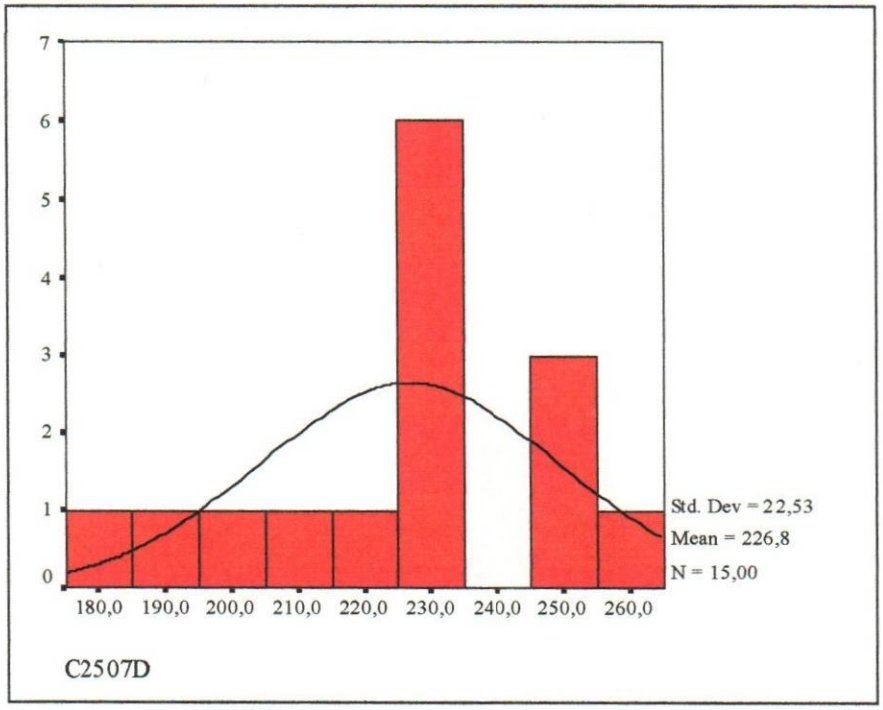


Gráfico Nº 2.8. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS COMPRESIÓN 28 DÍAS 250 kg/cm^2

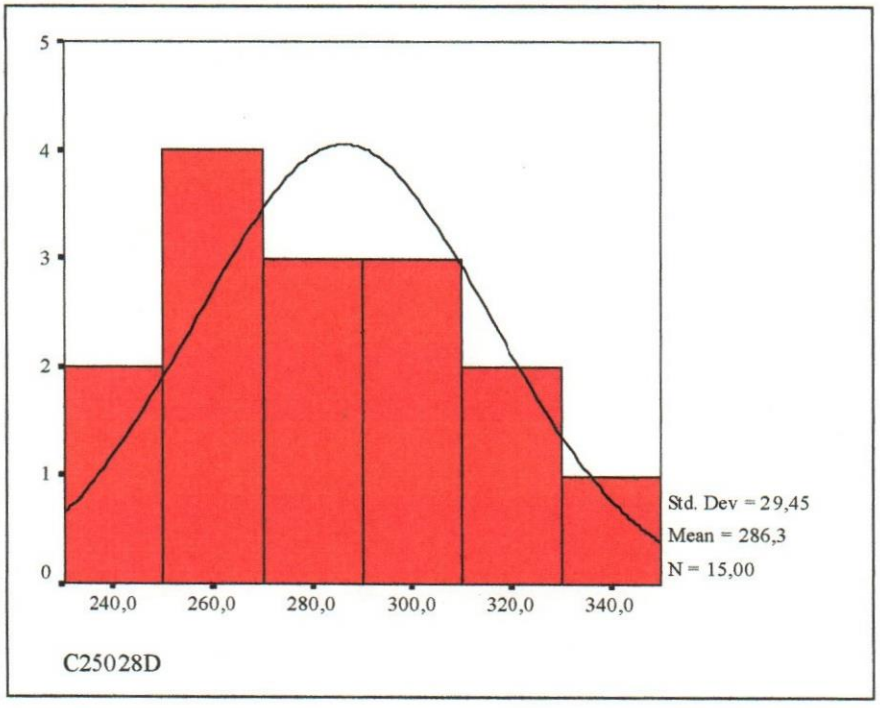


Gráfico Nº 2.9. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS TRACCIÓN INDIRECTA 7 DÍAS 250 kg/cm^2

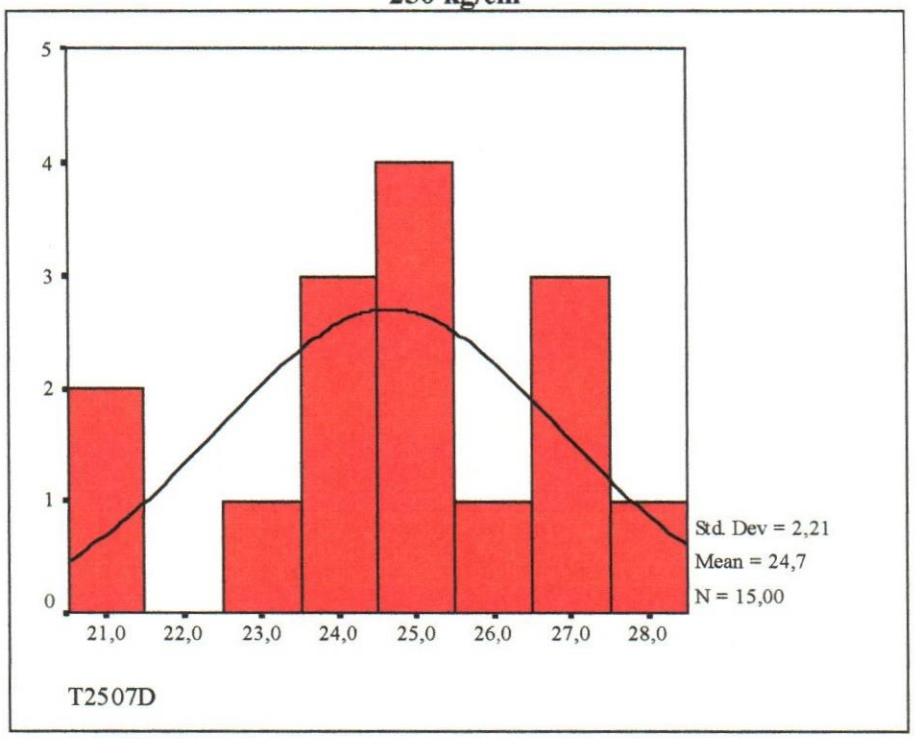


Gráfico Nº 2.10. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS TRACCIÓN INDIRECTA 28 DÍAS 250 kg/cm^2

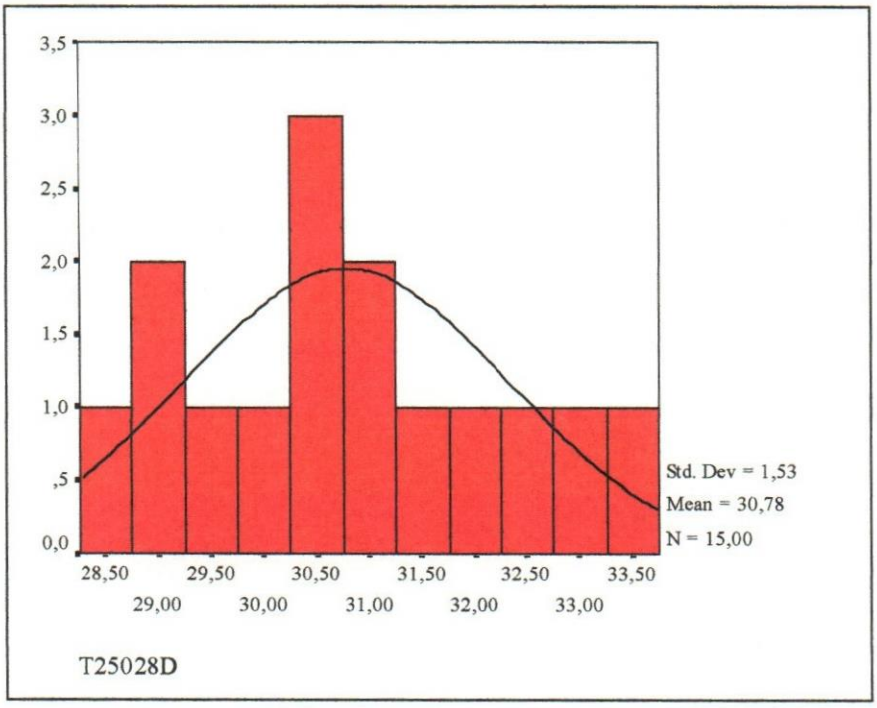


Gráfico Nº 2.11. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS
MÓDULO DE ROTURA 7 DÍAS
250 kg/cm^2

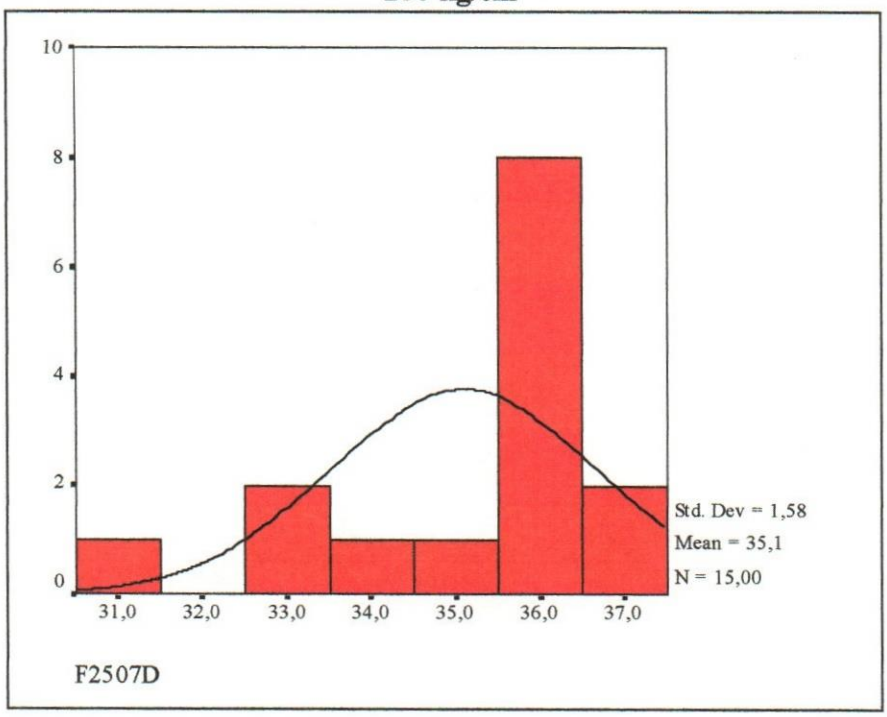


Gráfico Nº 2.12. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS
MÓDULO DE ROTURA 28 DÍAS
250 kg/cm2

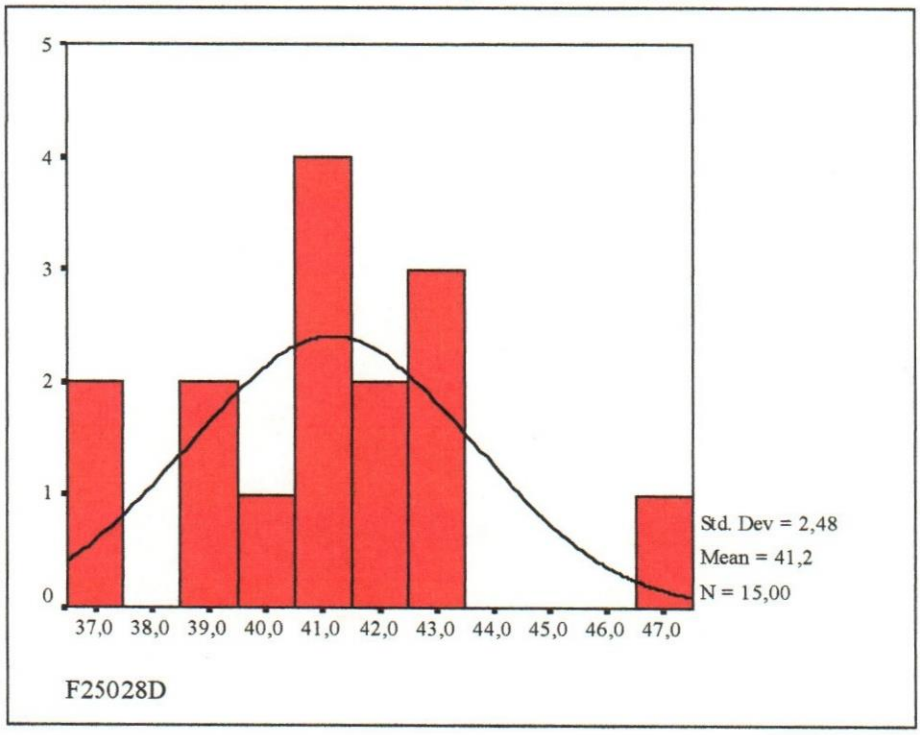


Gráfico Nº 2.13. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS COMPRESIÓN 7 DÍAS 280 kg/cm^2

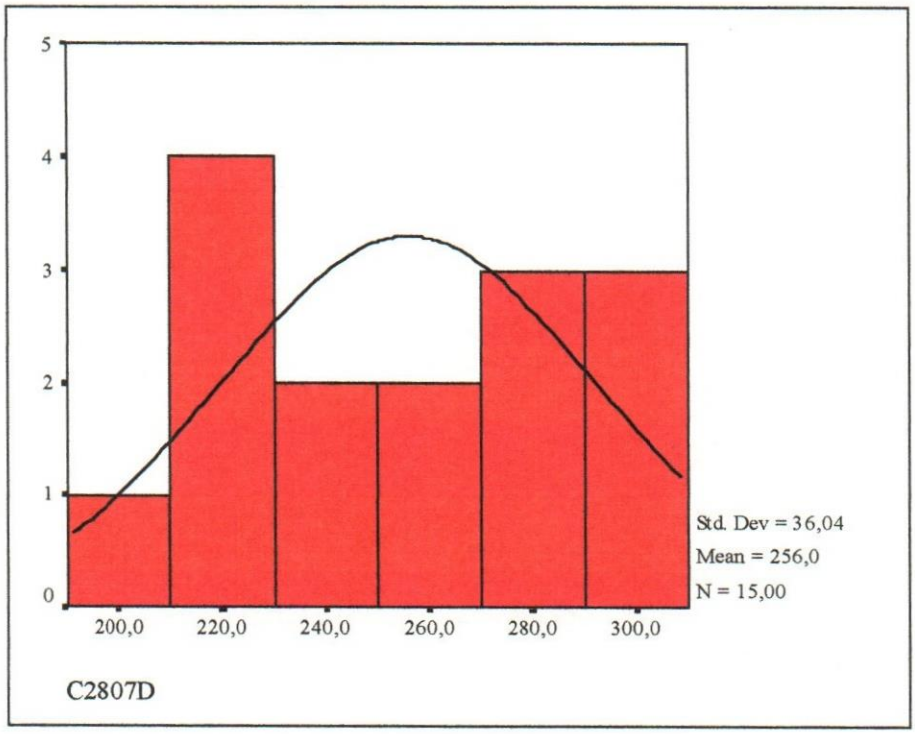


Gráfico Nº 2.14. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS COMPRESIÓN 28 DÍAS 280 kg/cm^2

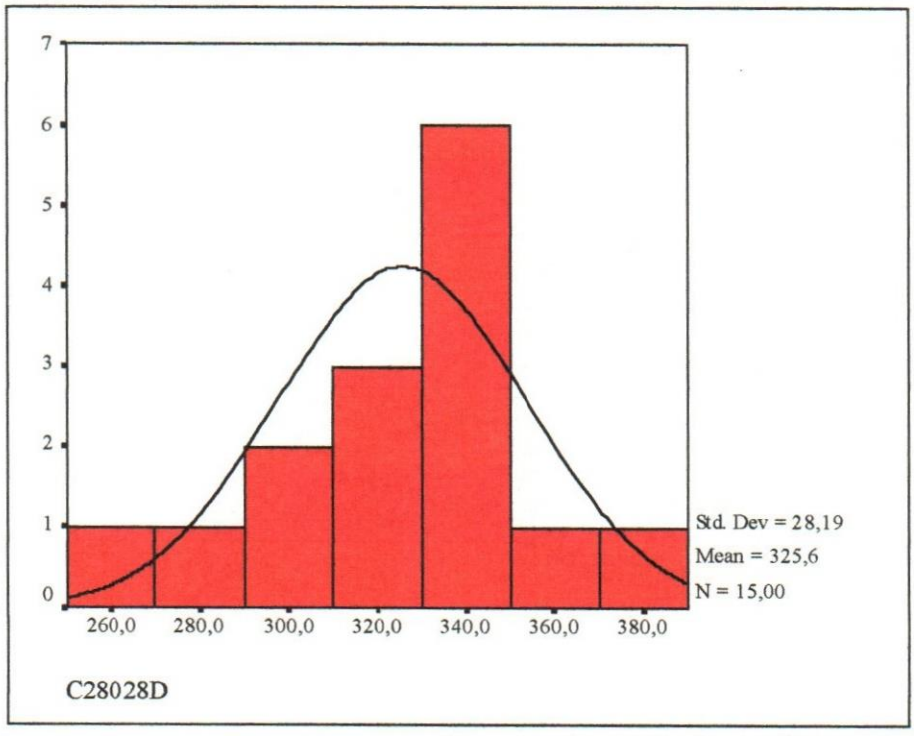


Gráfico Nº 2.15. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS TRACCIÓN INDIRECTA 7 DÍAS 280 kg/cm^2

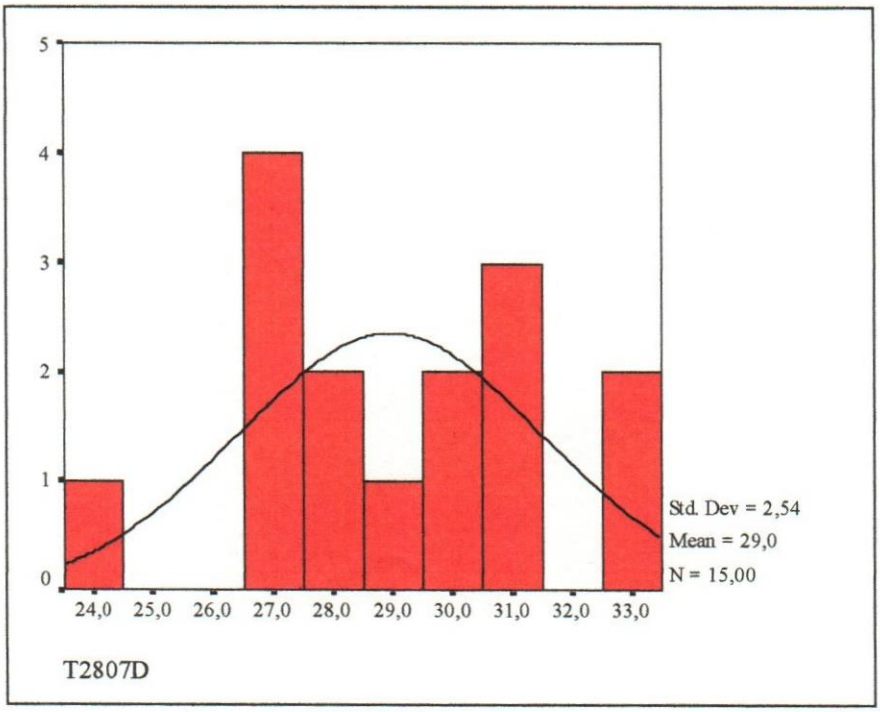


Gráfico Nº 2.16. HISTOGRAMA DE FRECUENCIA TRACCIÓN INDIRECTA 28 DÍAS 280 kg/cm^2

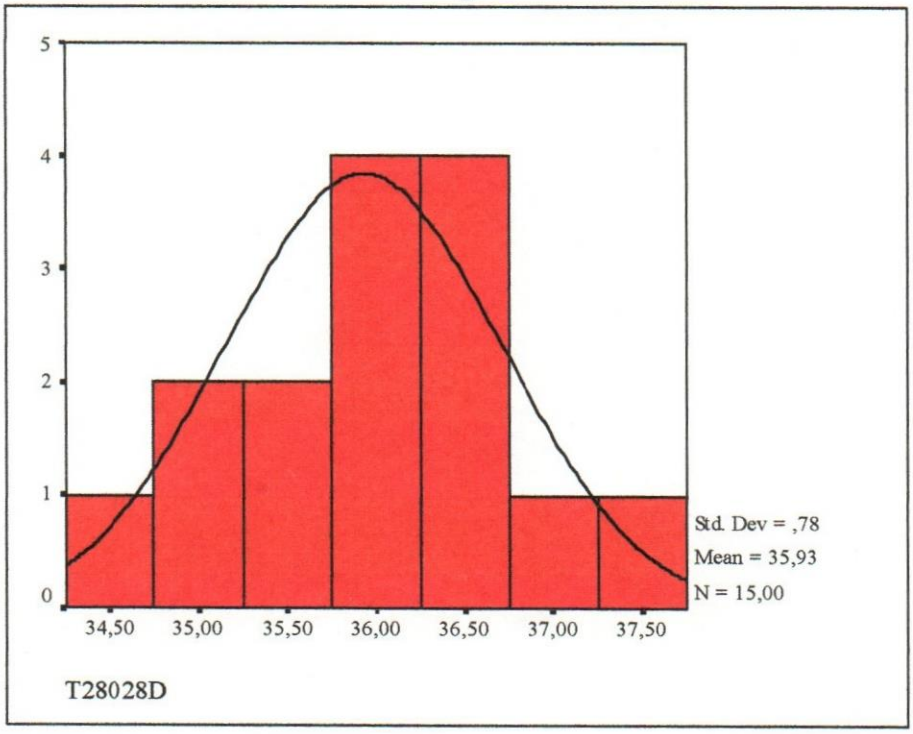


Gráfico Nº 2.17. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS
MÓDULO DE ROTURA 7 DÍAS
280 kg/cm2

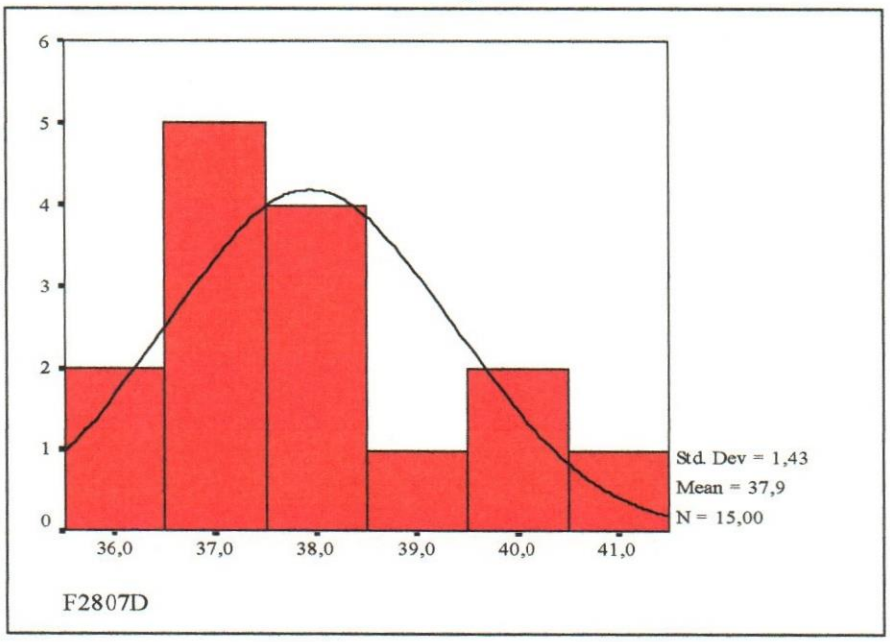


Gráfico Nº 2.16. HISTOGRAMA DE FRECUENCIA
TRACCIÓN INDIRECTA 28 DÍAS
280 kg/cm^2

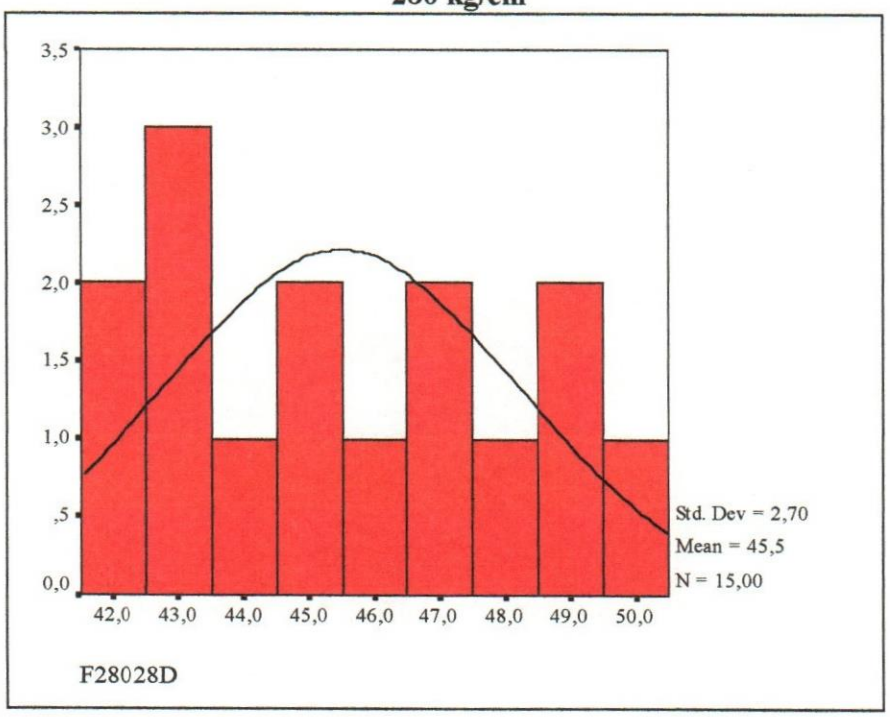


Gráfico 3.1. COMPRESIÓN vs. TRACCIÓN INDIRECTA
210 kg/cm^2

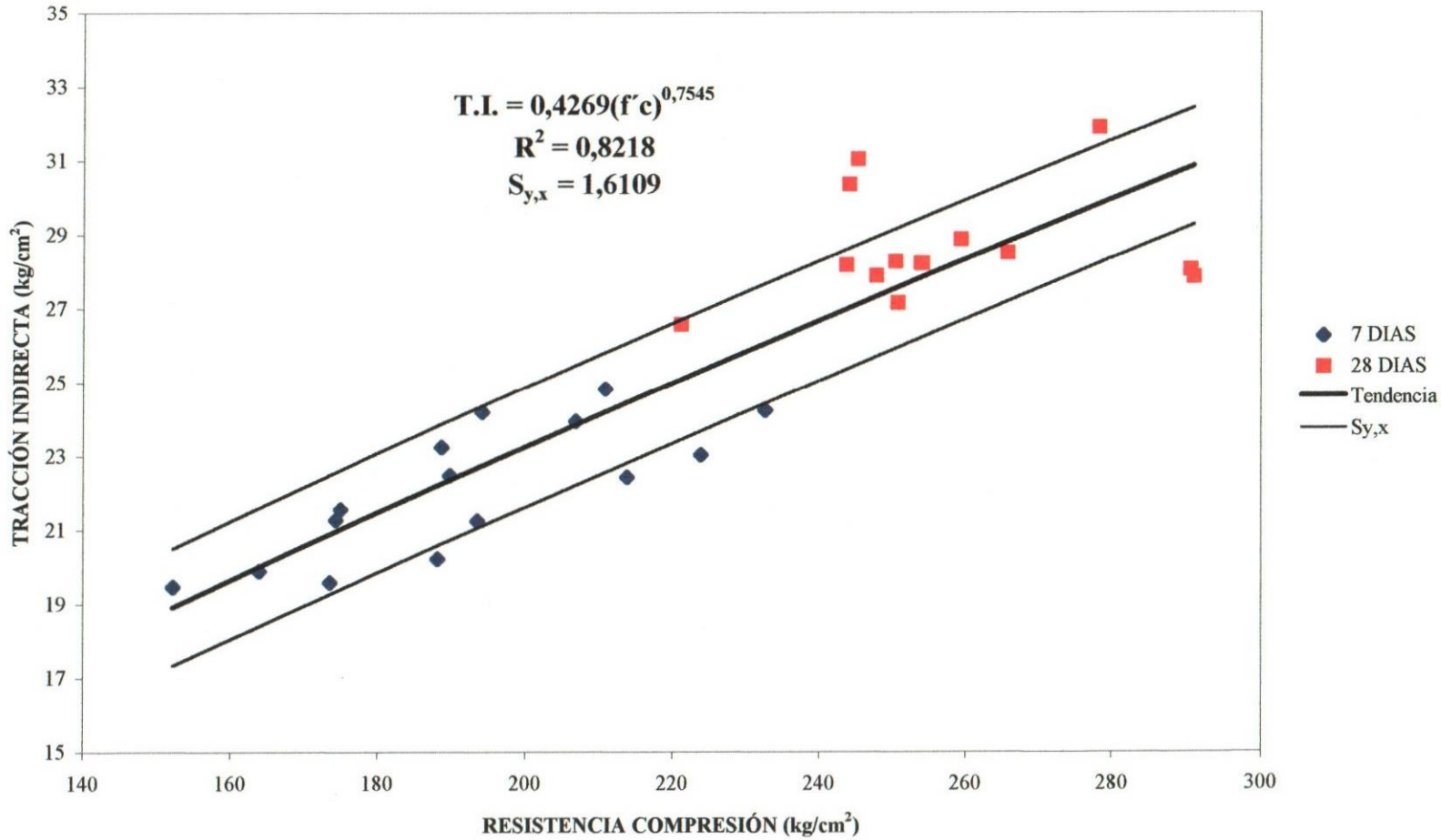
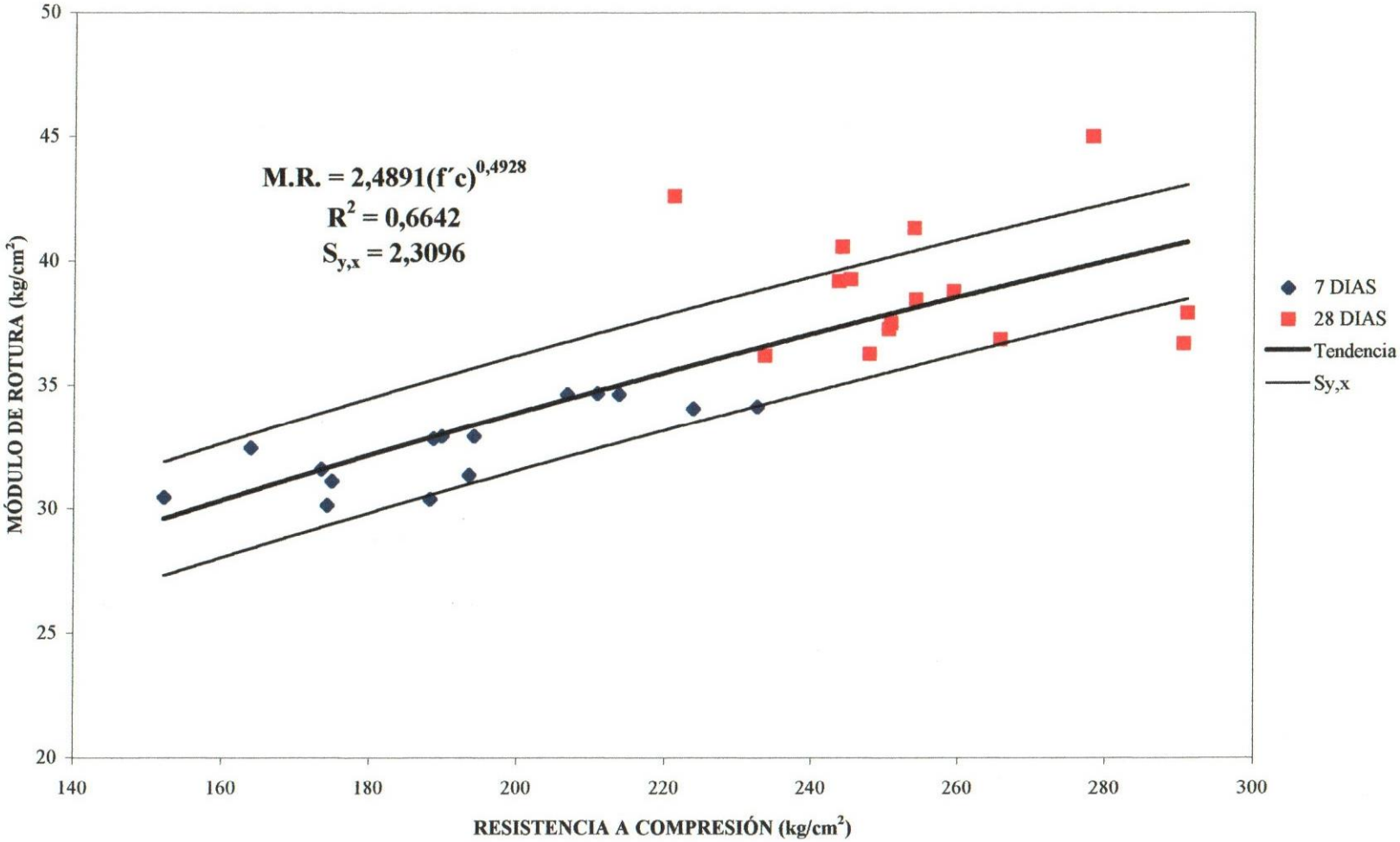


Gráfico 3.2. COMPRESIÓN vs. MÓDULO DE ROTURA
210 kg/cm^2



3.2.1. COMPRESIÓN vs. MÓDULO DE ROTURA
210 kg/cm^2

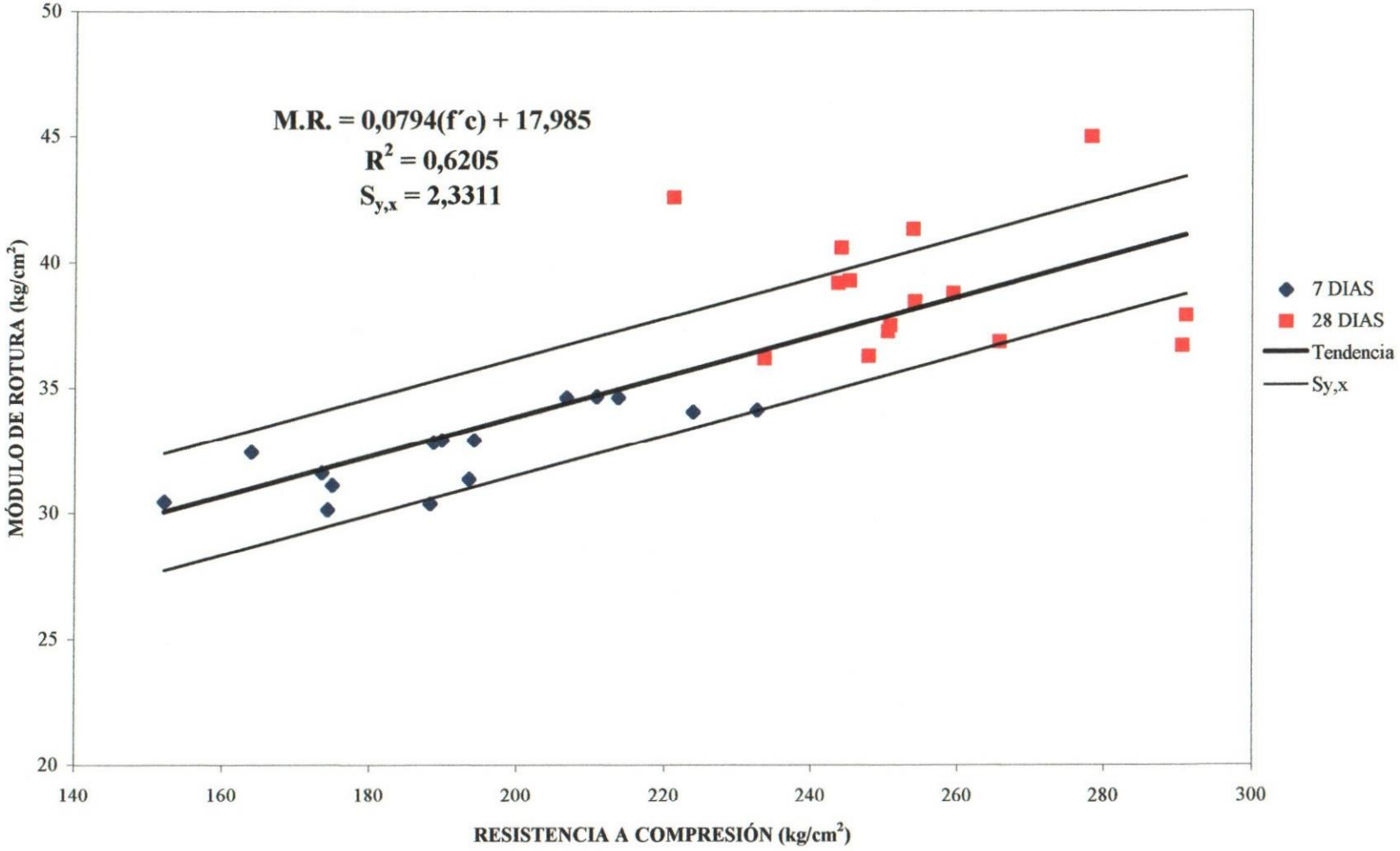


Gráfico 3.3. TRACCIÓN INDIRECTA vs. MÓDULO DE ROTURA
210 kg/cm²

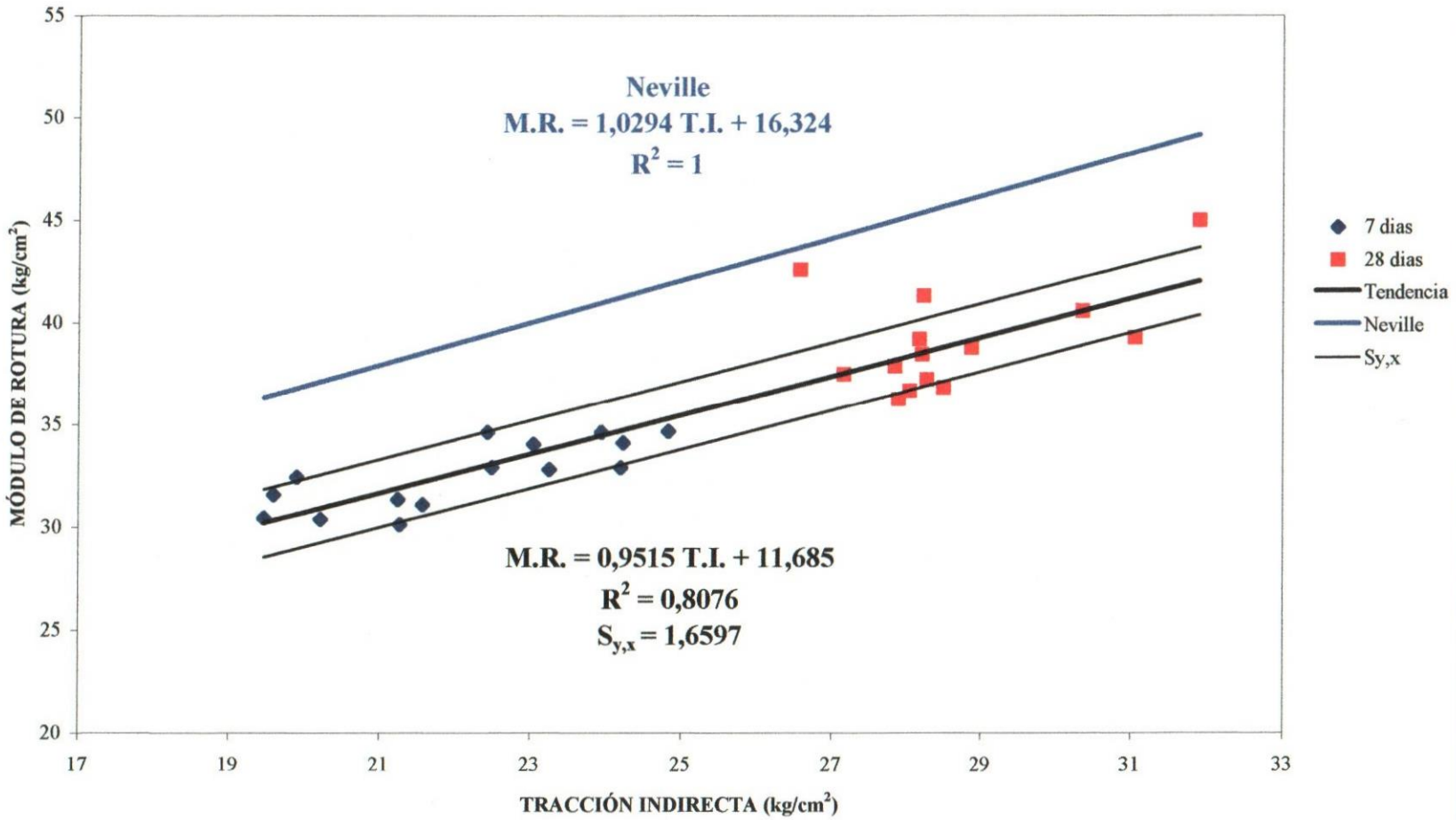


Gráfico 4.1. COMPRESIÓN vs. TRACCIÓN INDIRECTA
210 kg/cm²

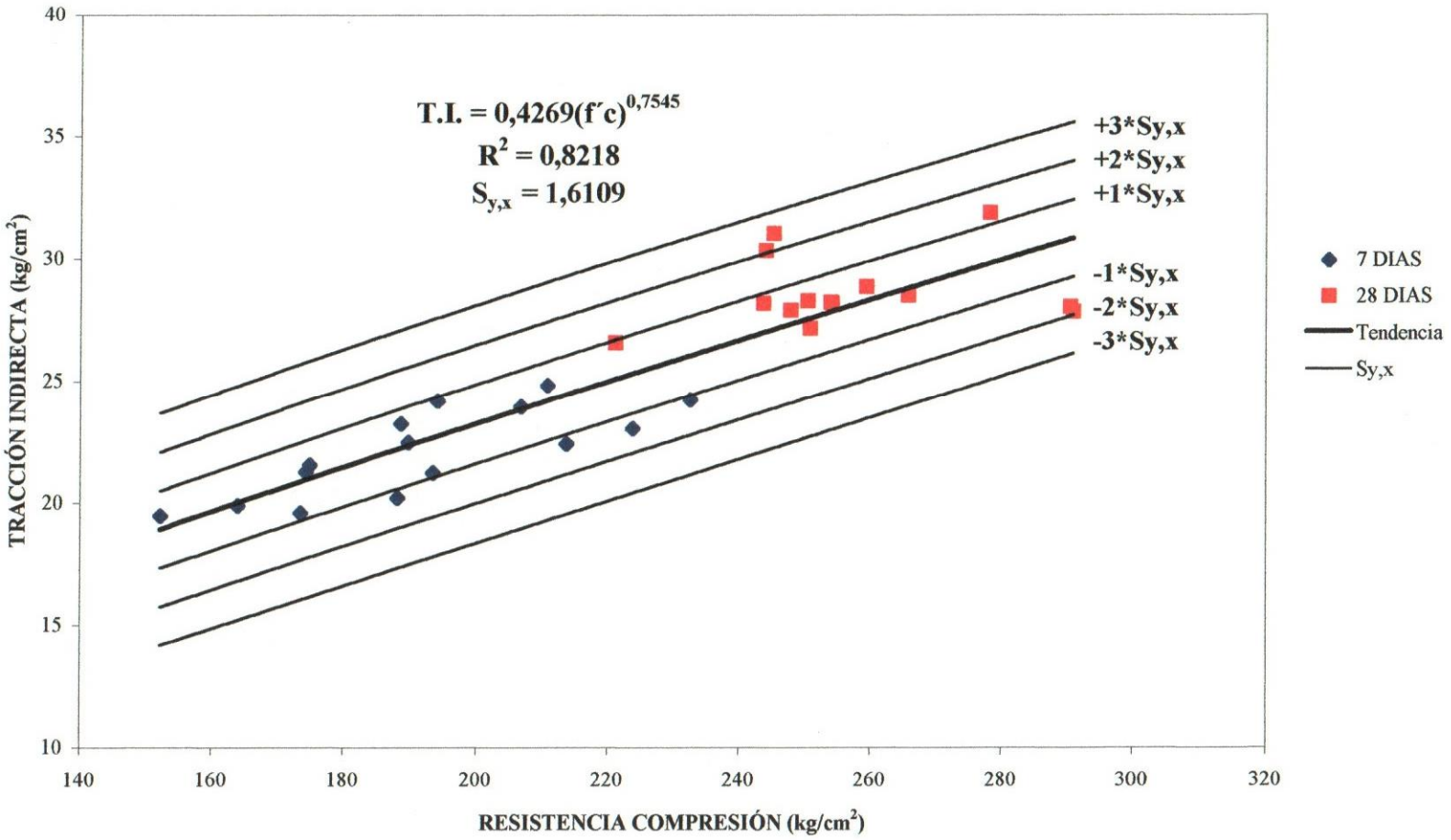


Gráfico 4.2. COMPRESIÓN vs. MÓDULO DE ROTURA
210 kg/cm^2

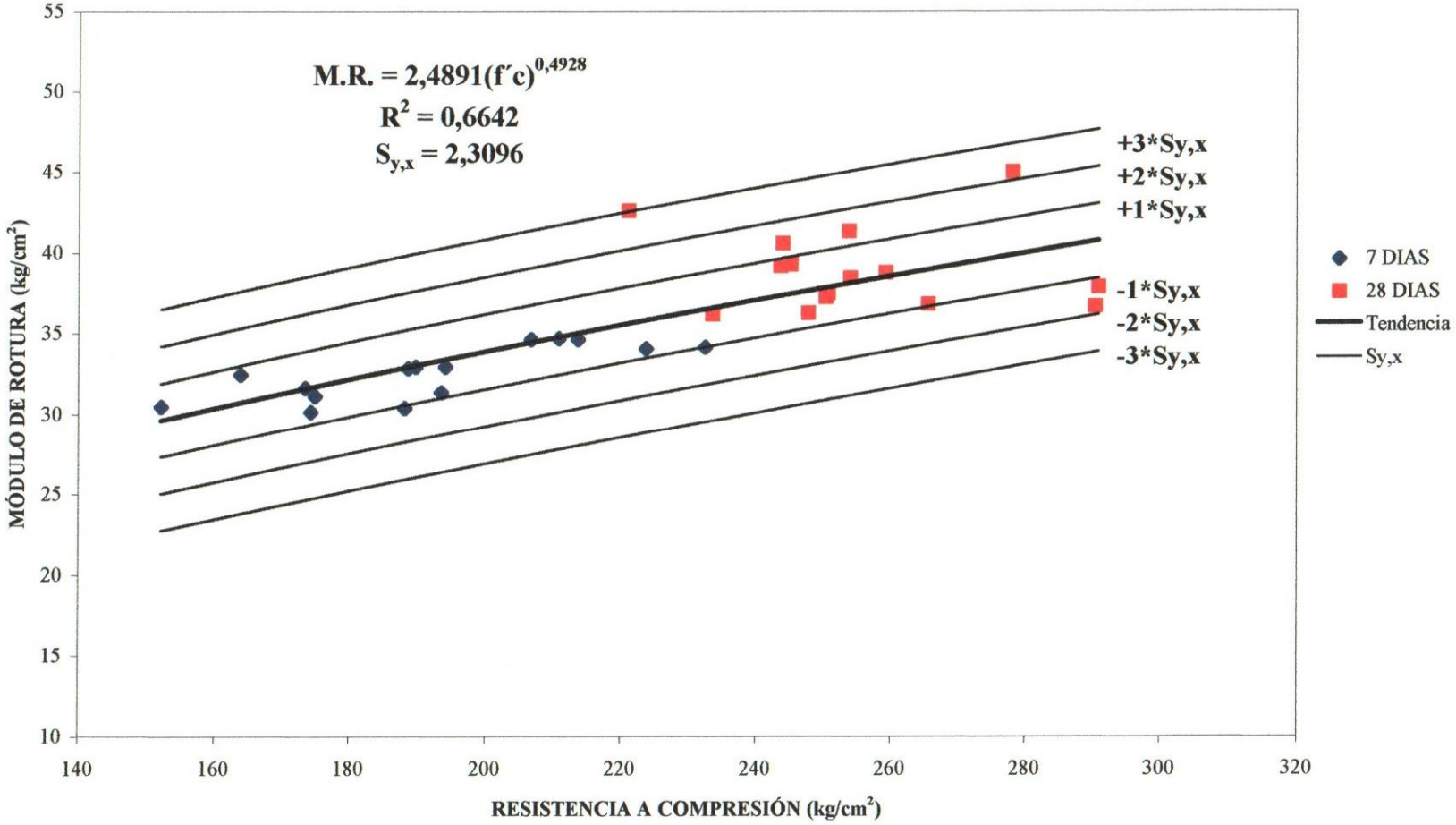


Gráfico 4.2.1. COMPRESIÓN vs. MÓDULO DE ROTURA
210 kg/cm²

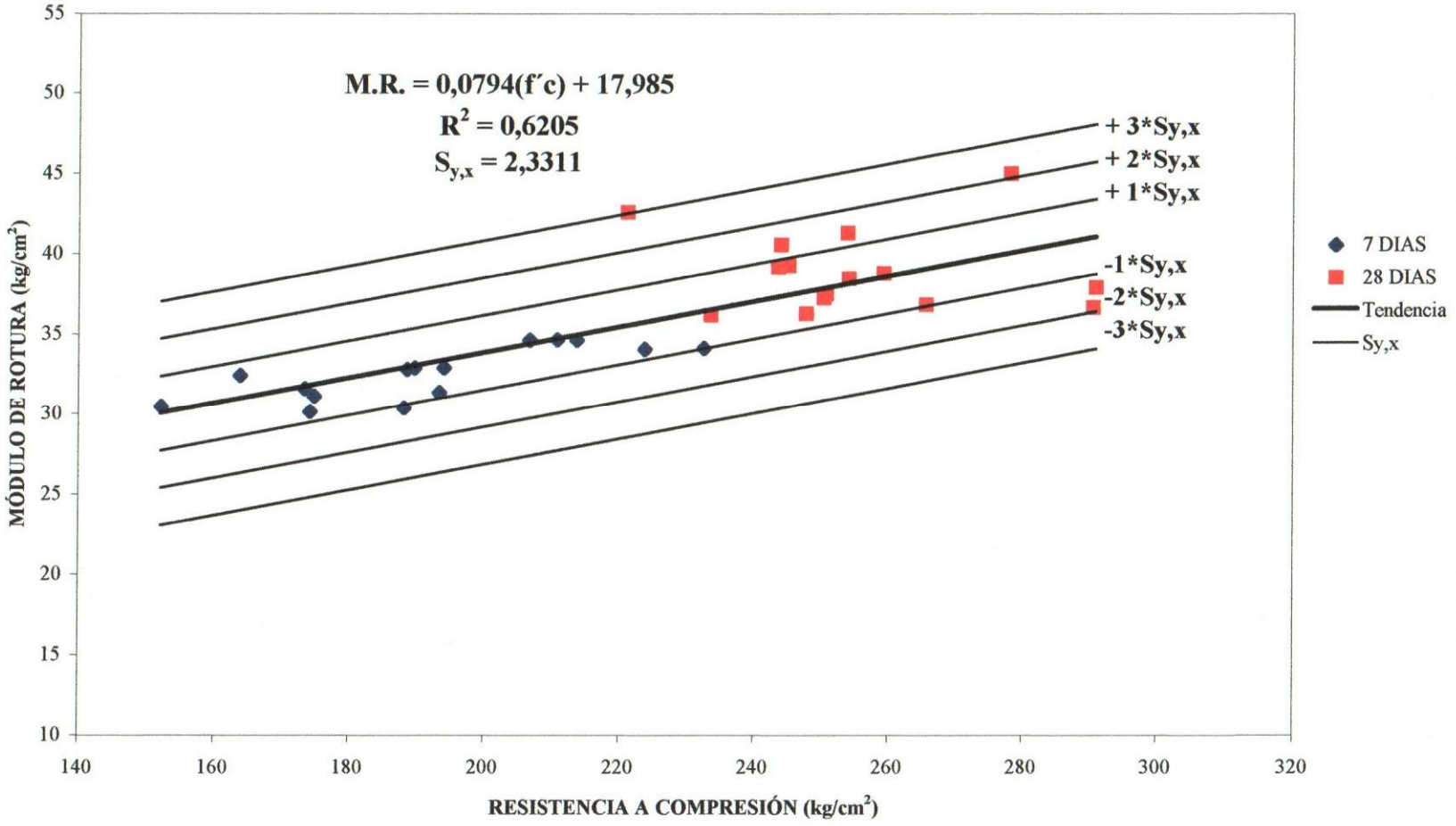


Gráfico 4.3. TRACCIÓN INDIRECTA vs. MÓDULO DE ROTURA
210 kg/cm^2

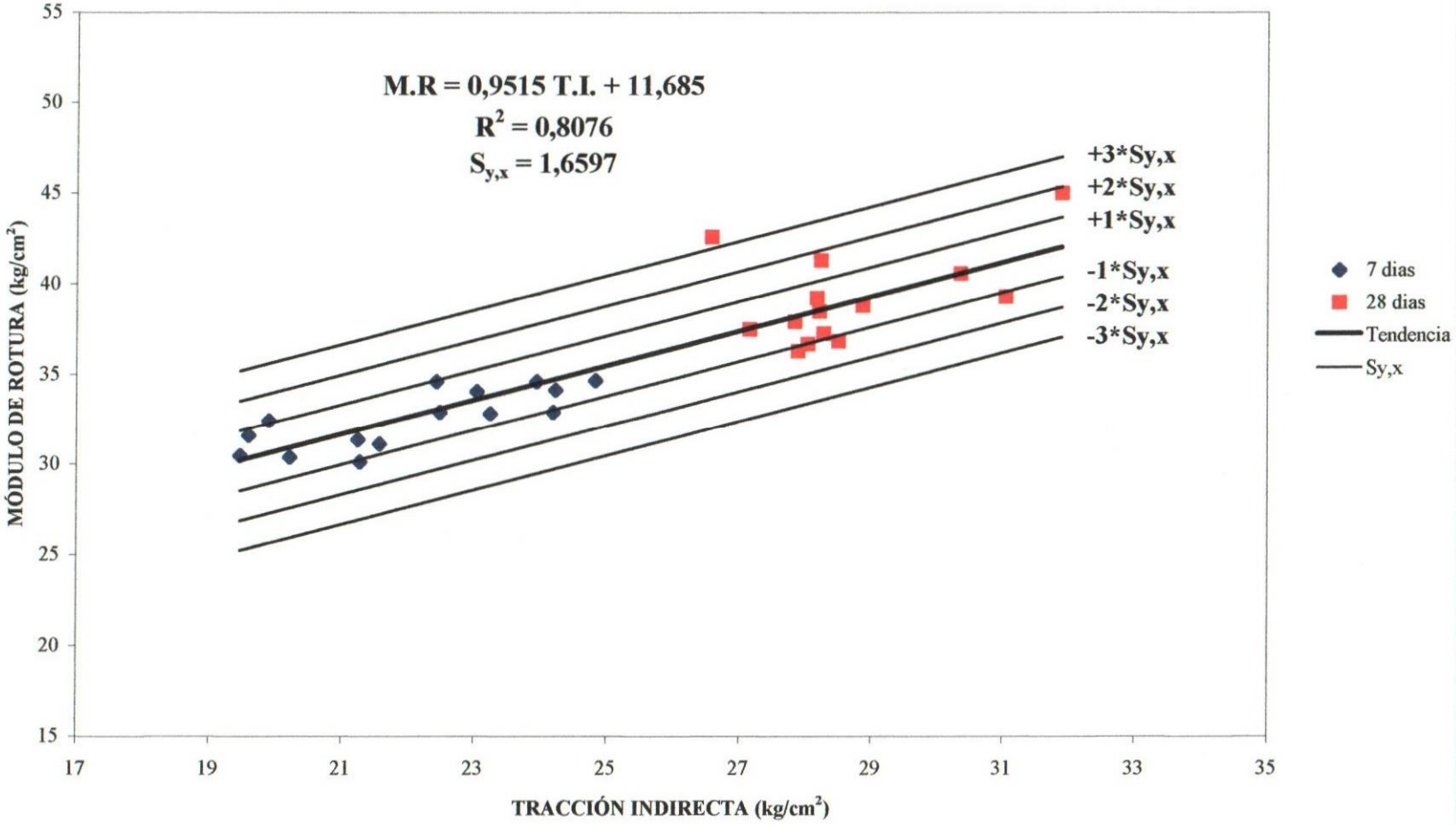


Gráfico 3.4. COMPRESIÓN vs. TRACCIÓN INDIRECTA
250 kg/cm^2

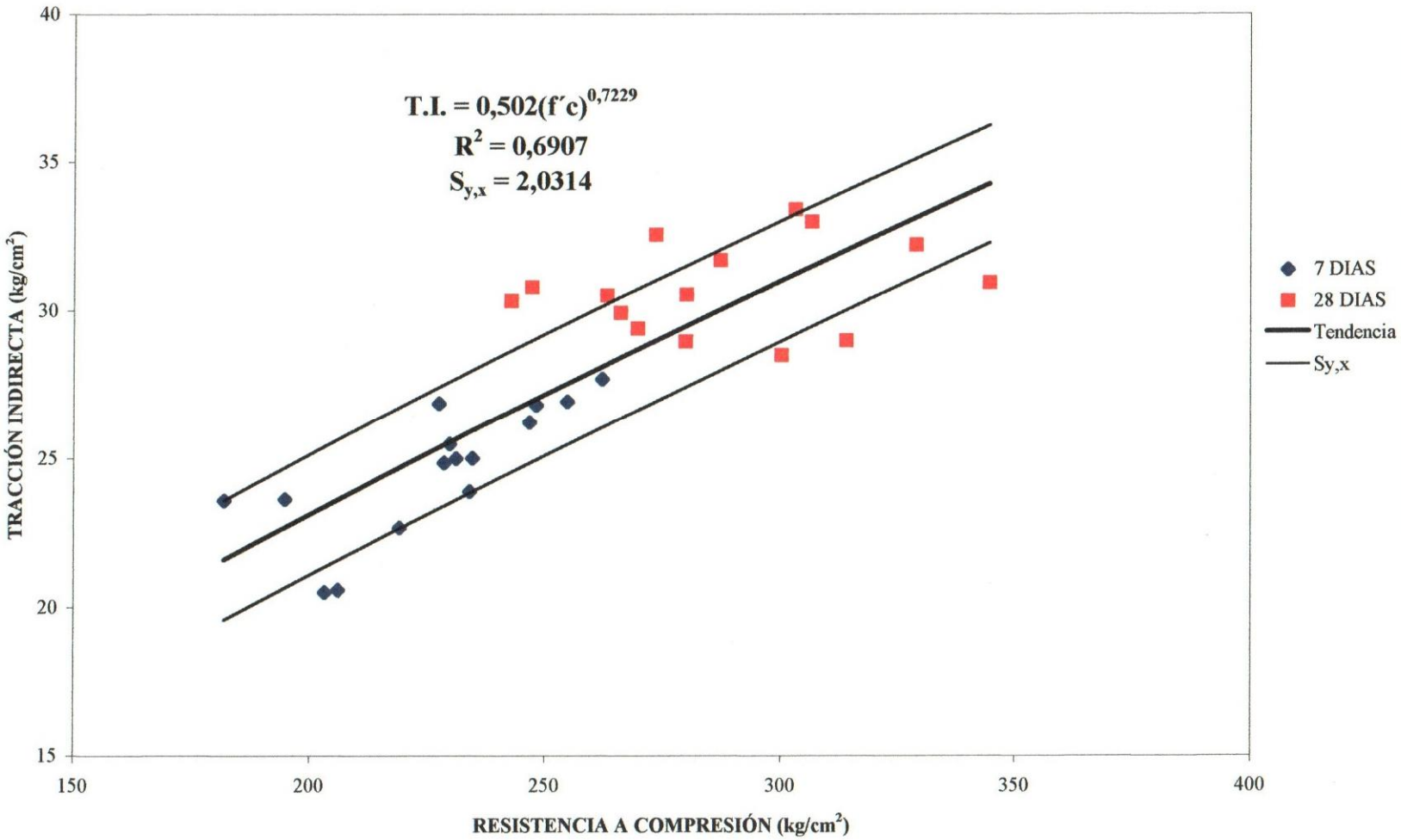


Gráfico 3.5. COMPRESIÓN vs. MÓDULO DE ROTURA
250 kg/cm^2

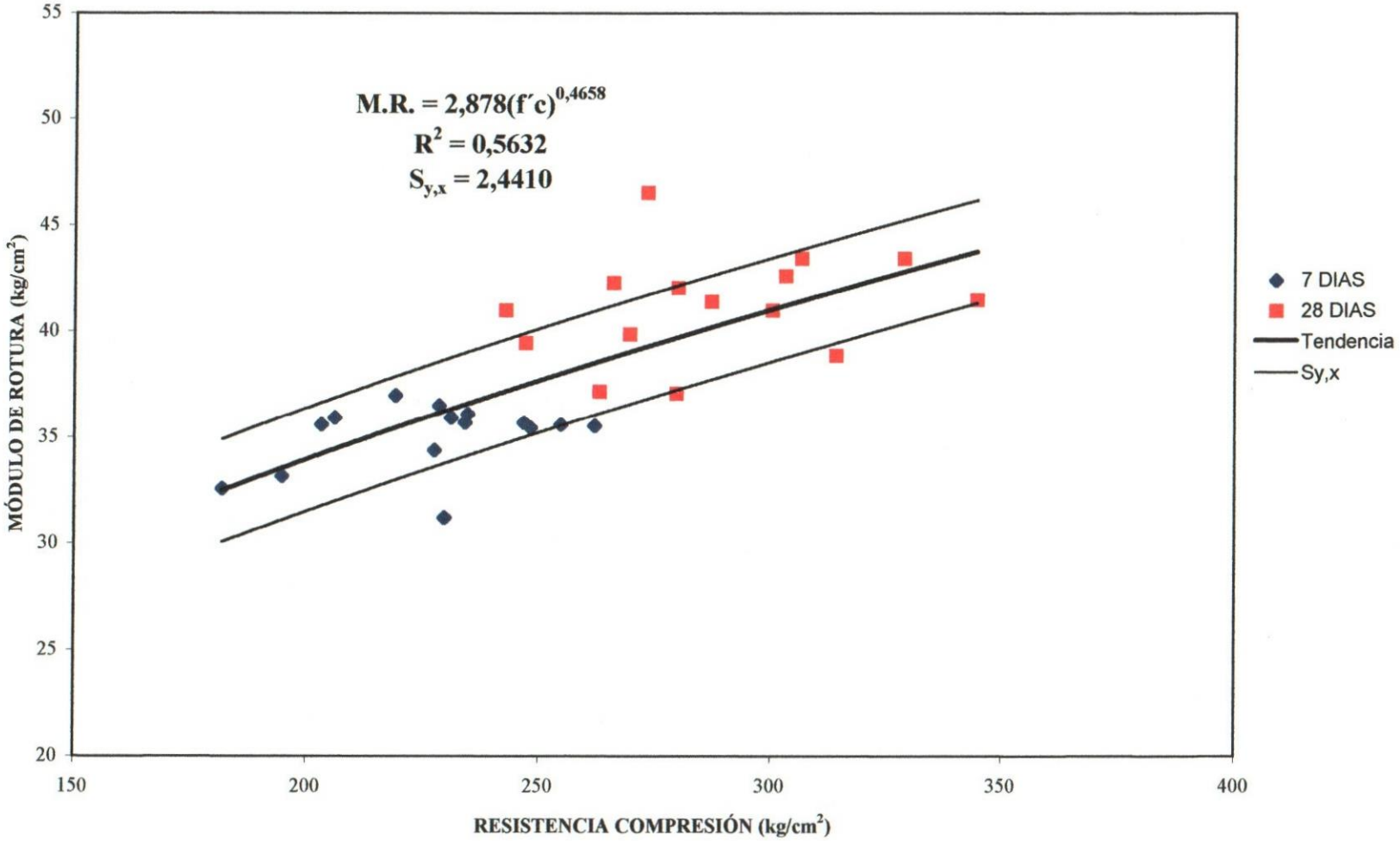


Gráfico 3.5.1. COMPRESIÓN vs. MÓDULO DE ROTURA
250 kg/cm^2

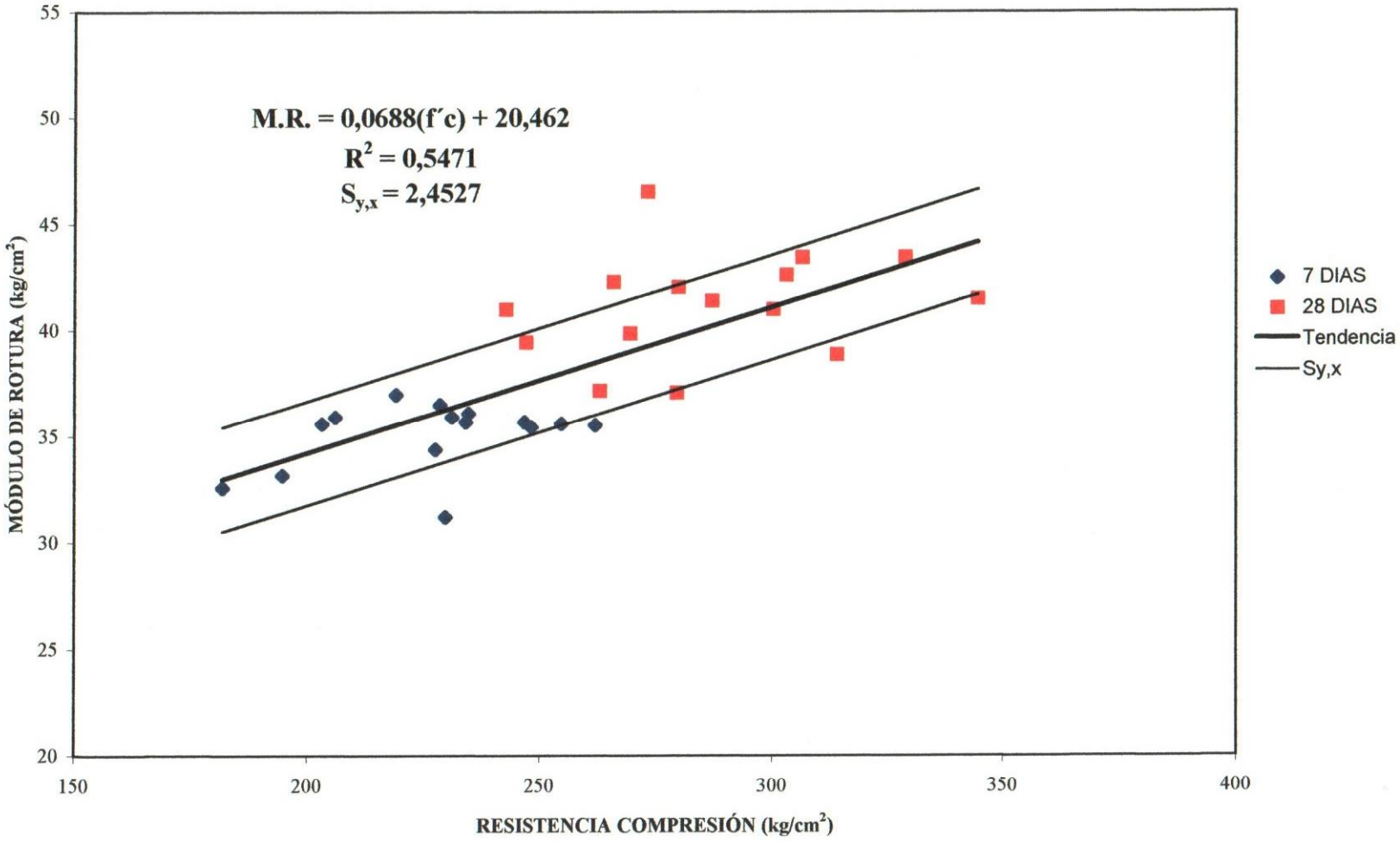


Gráfico 3.6. TRACCIÓN INDIRECTA vs. MÓDULO DE ROTURA
250 kg/cm^2

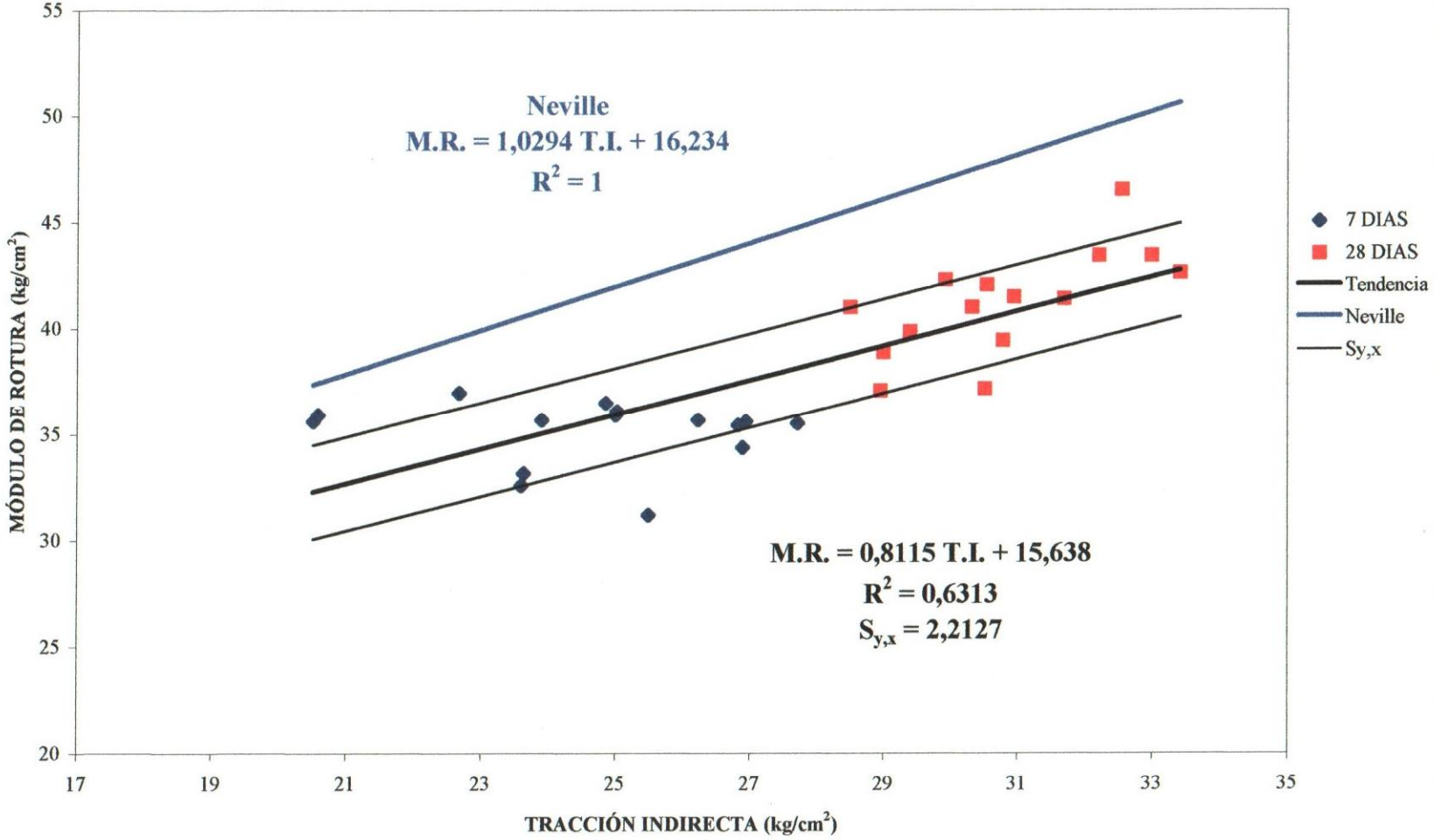


Gráfico 4.4. COMPRESIÓN vs. TRACCIÓN INDIRECTA
250 kg/cm^2

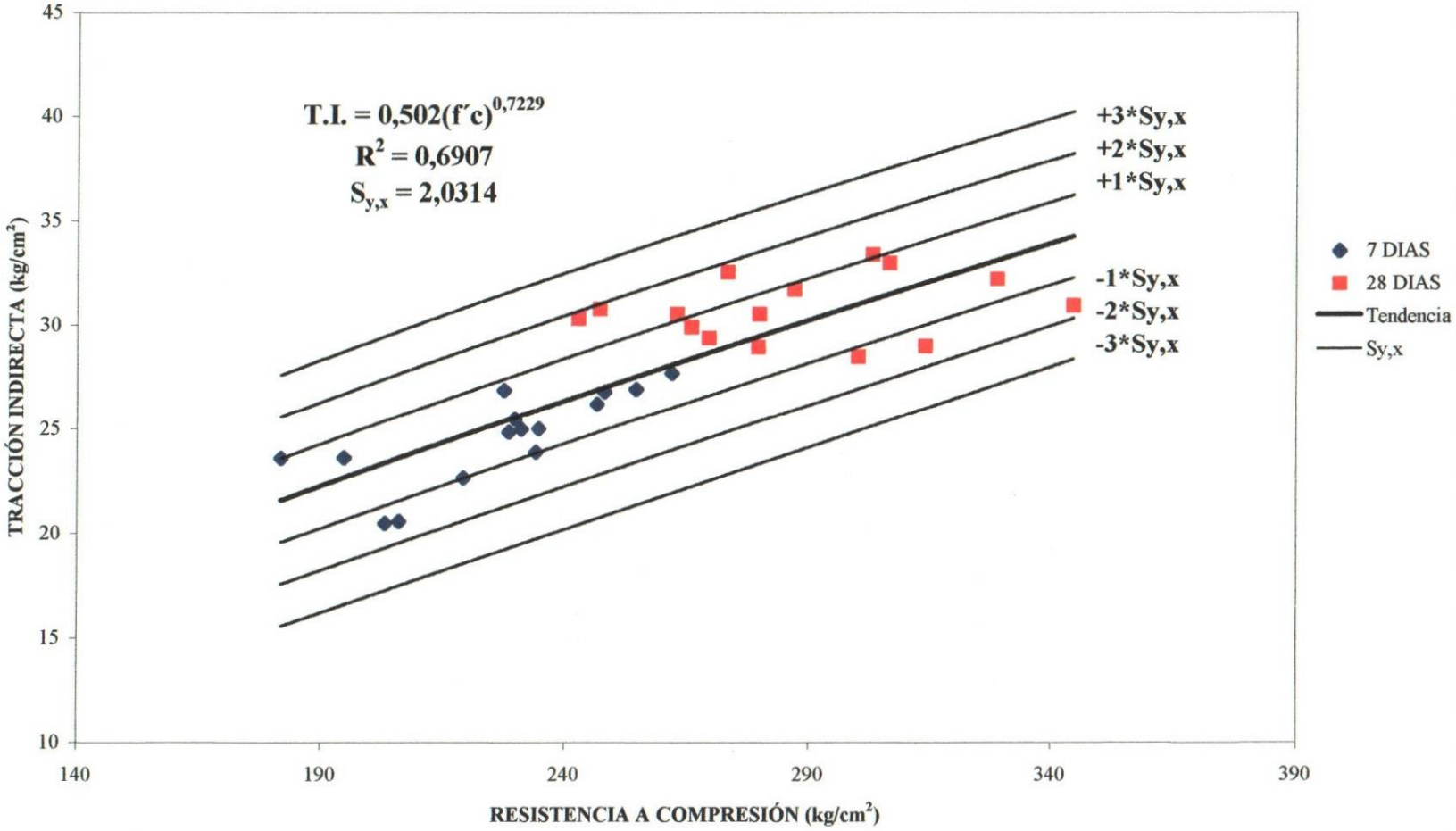


Gráfico 4.5. COMPRESIÓN vs. MÓDULO DE ROTURA
250 kg/cm^2

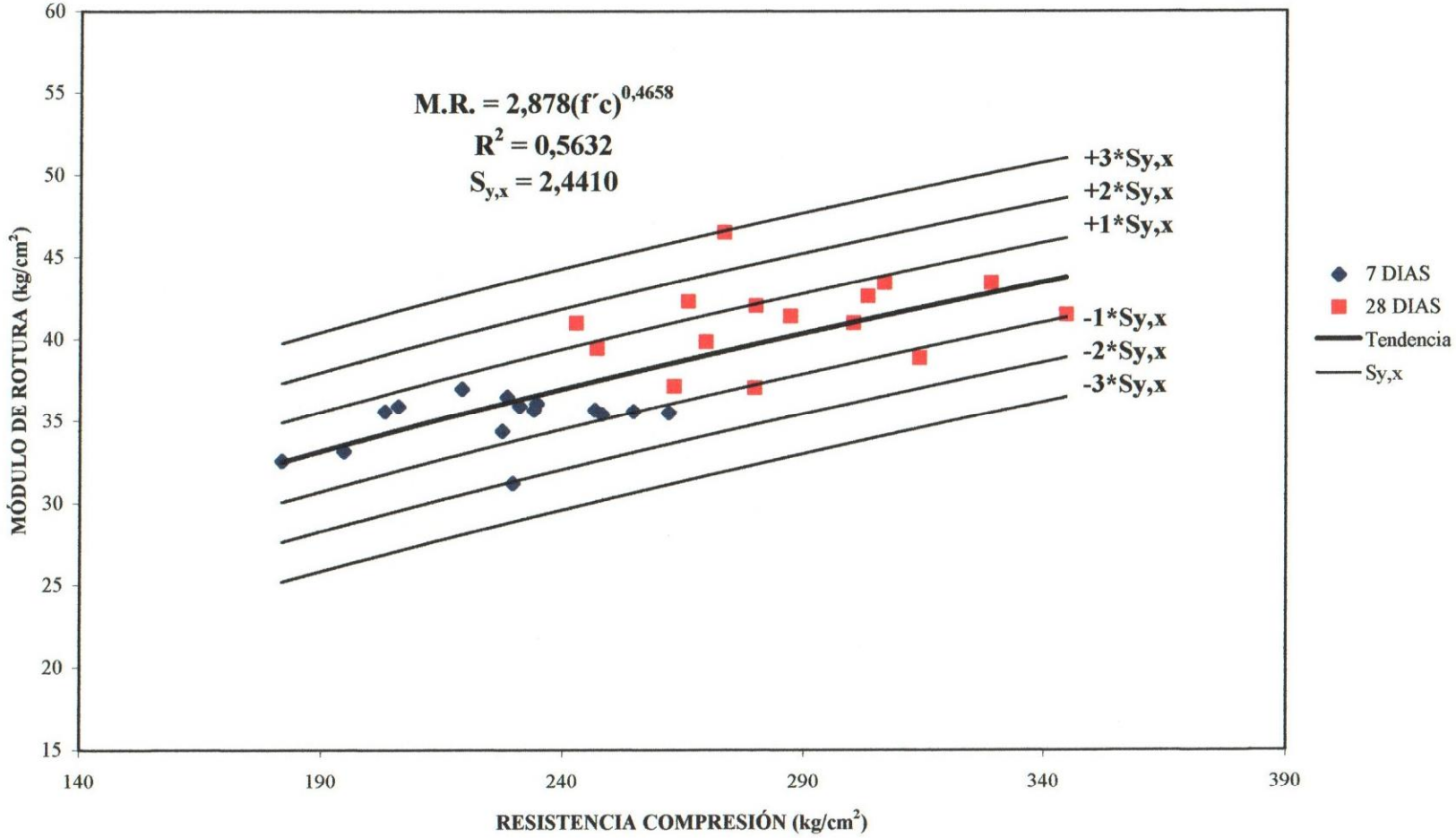


Gráfico 4.6. TRACCIÓN INDIRECTA vs. MÓDULO DE ROTURA
250 kg/cm^2

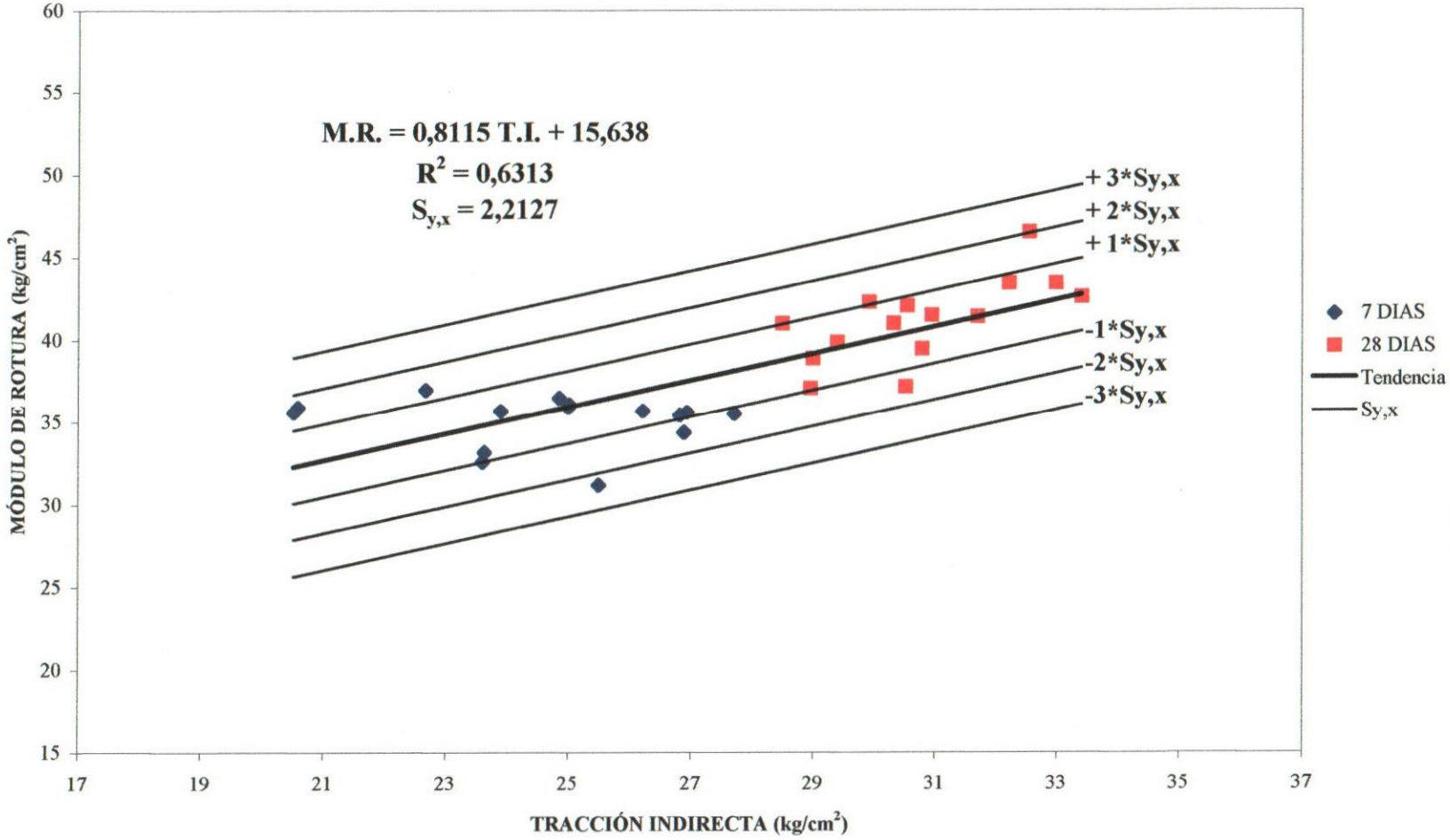


Gráfico 3.7. COMPRESIÓN vs. TRACCIÓN INDIRECTA
280 kg/cm^2

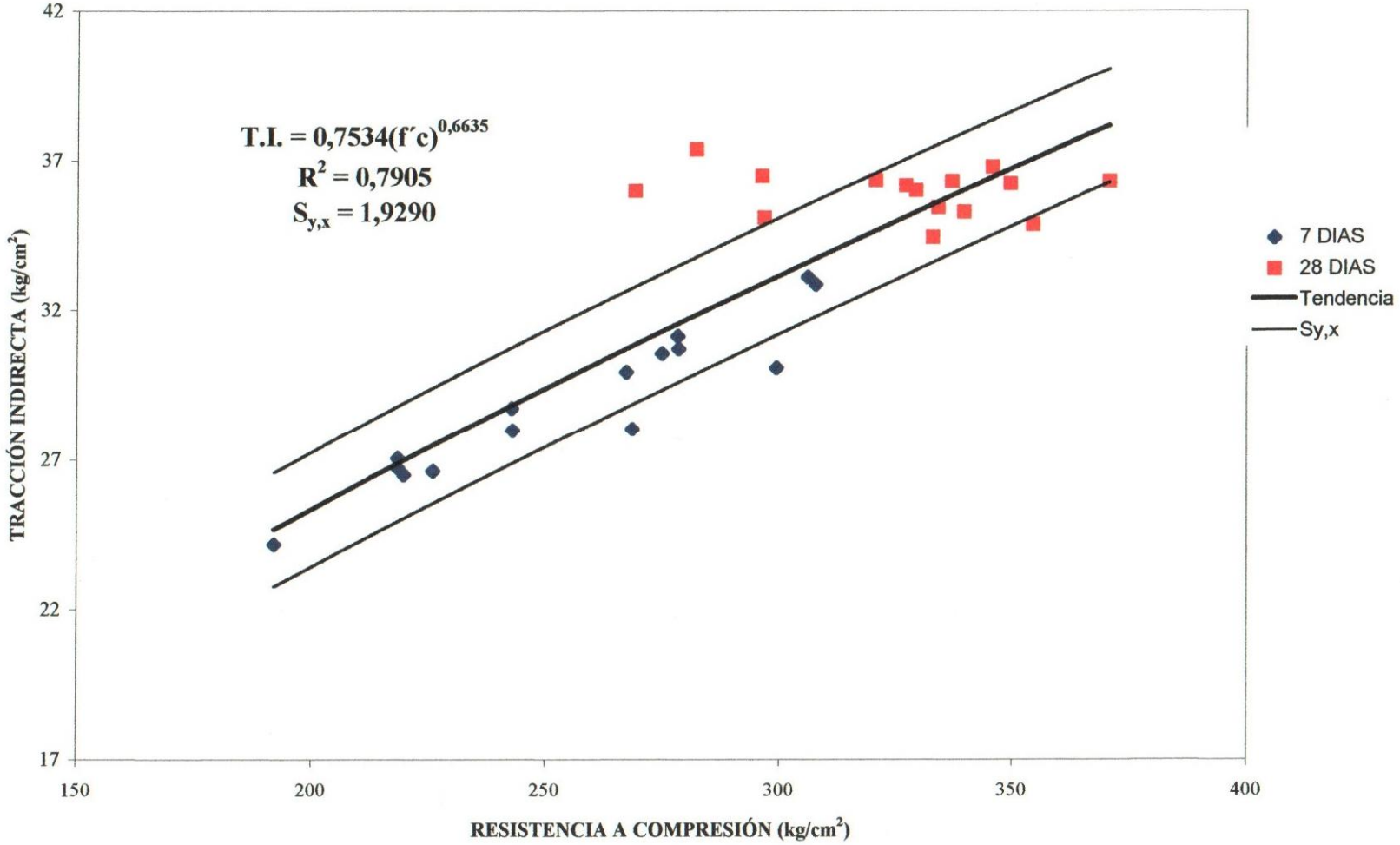


Gráfico 3.8. COMPRESIÓN vs. MÓDULO DE ROTURA
280 kg/cm^2

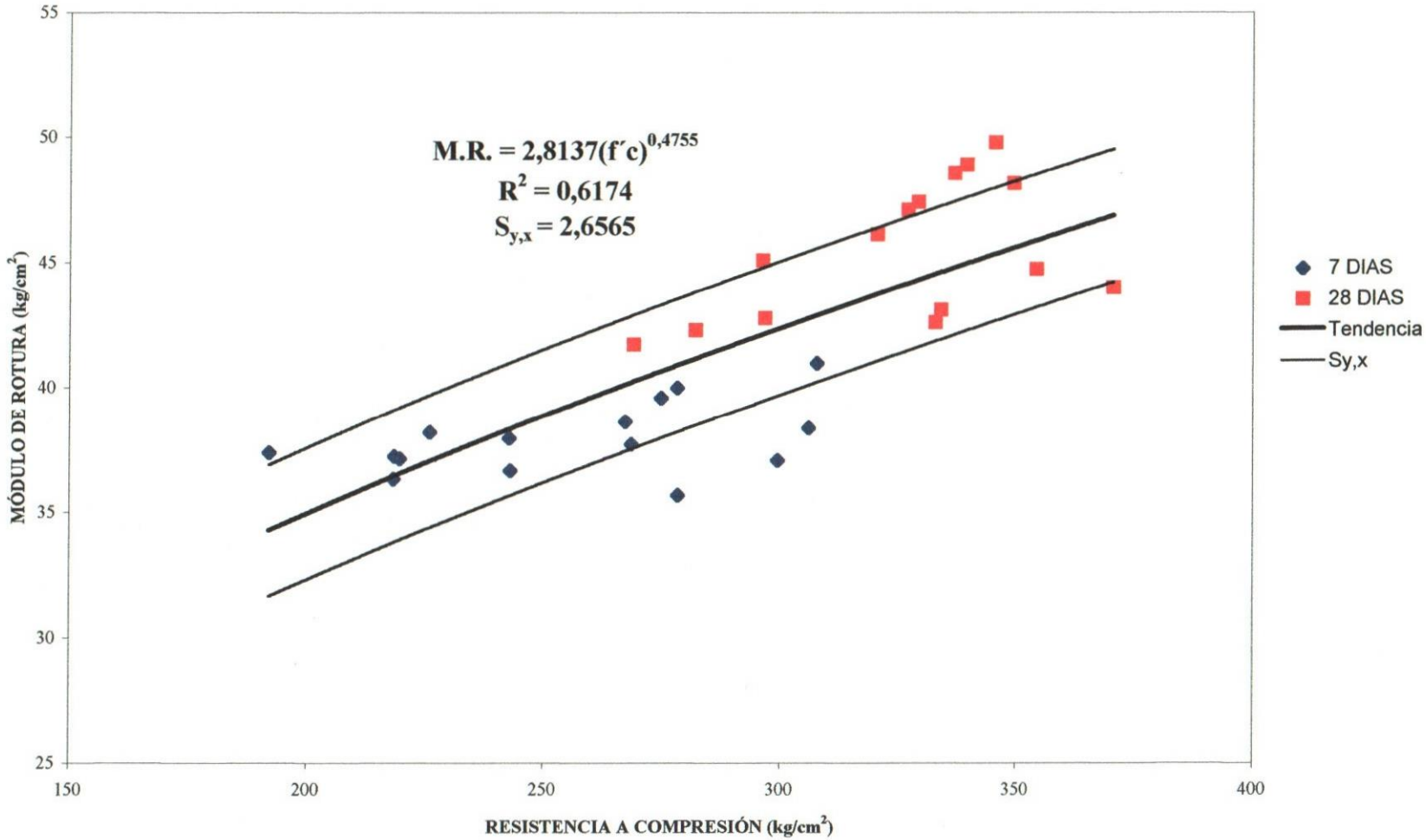


Gráfico 3.8.1. COMPRESIÓN vs. MÓDULO DE ROTURA
280 kg/cm²

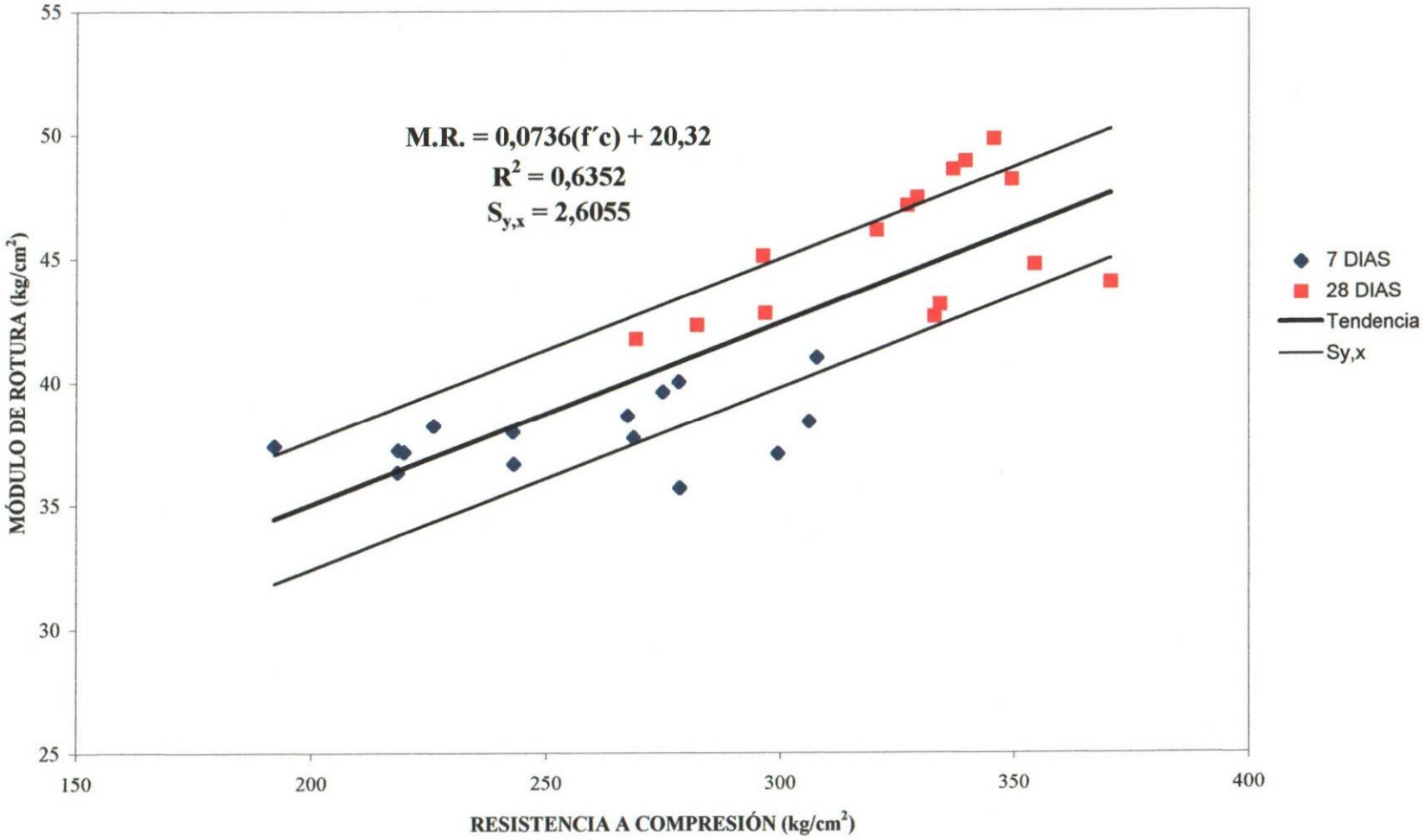


Gráfico 3.9. TRACCIÓN INDIRECTA vs. MÓDULO DE ROTURA
280 kg/cm^2

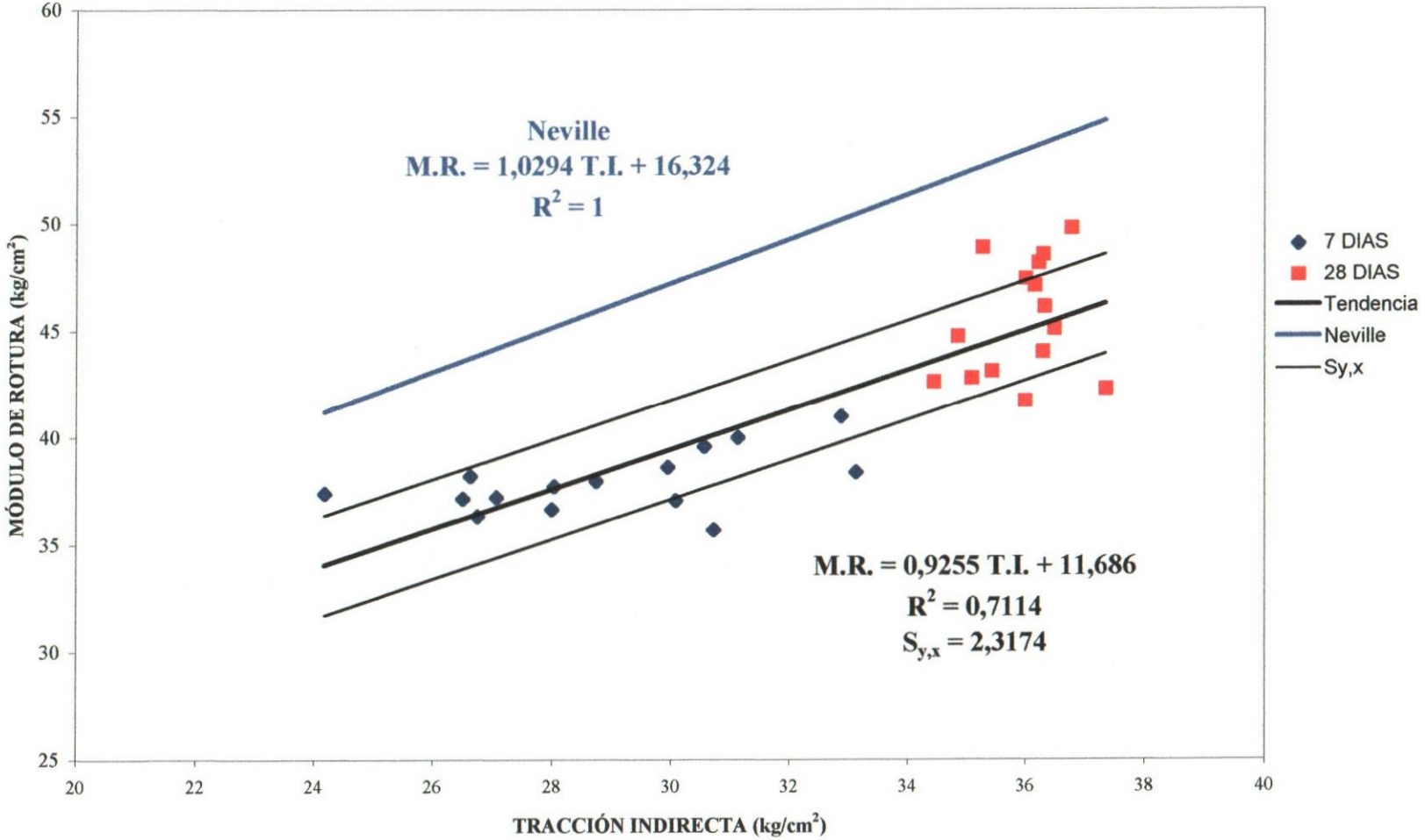


Gráfico 4.7. COMPRESIÓN vs. TRACCIÓN INDIRECTA
280 kg/cm^2

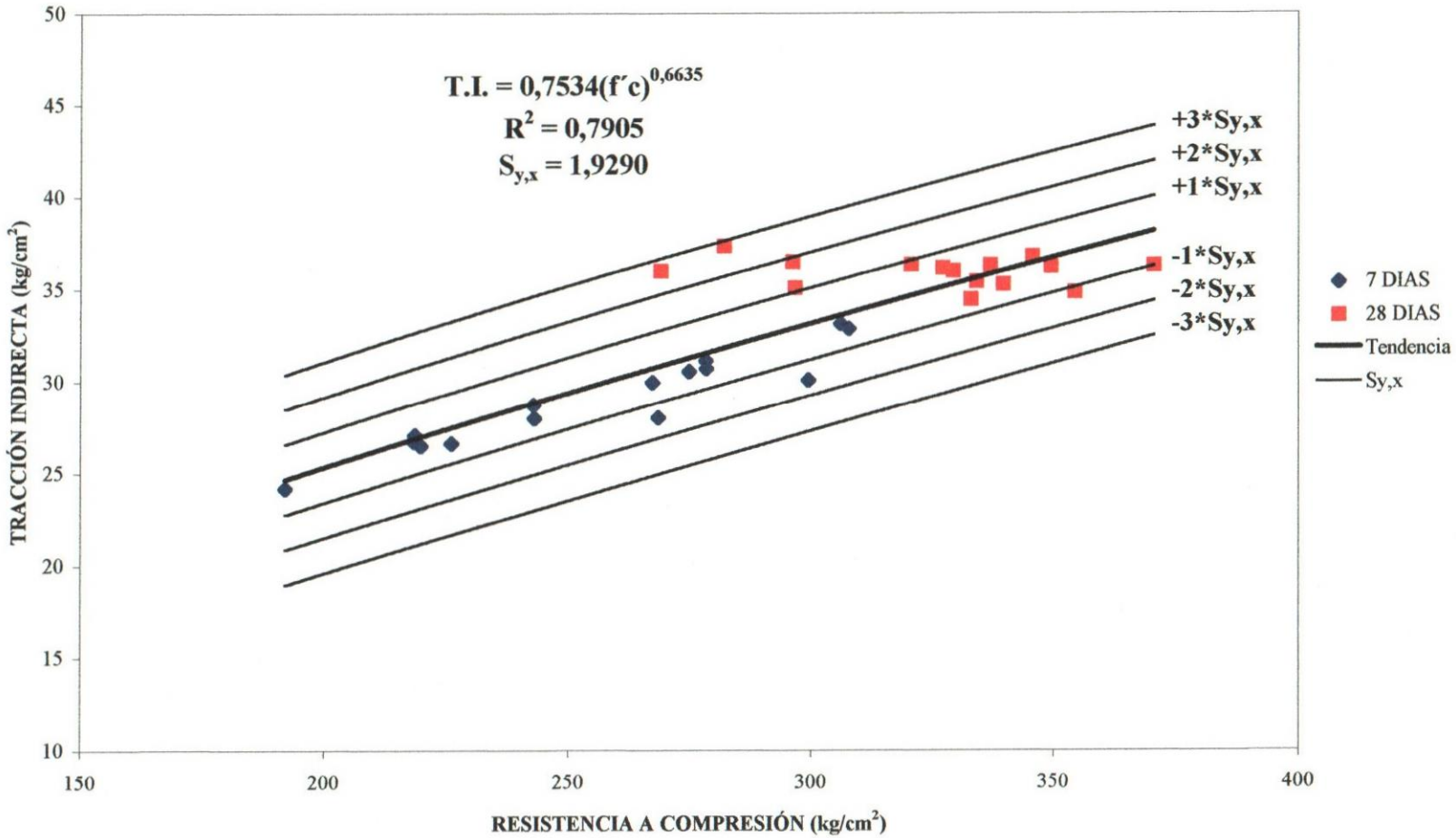


Gráfico 4.8. COMPRESIÓN vs. MÓDULO DE ROTURA
280 kg/cm^2

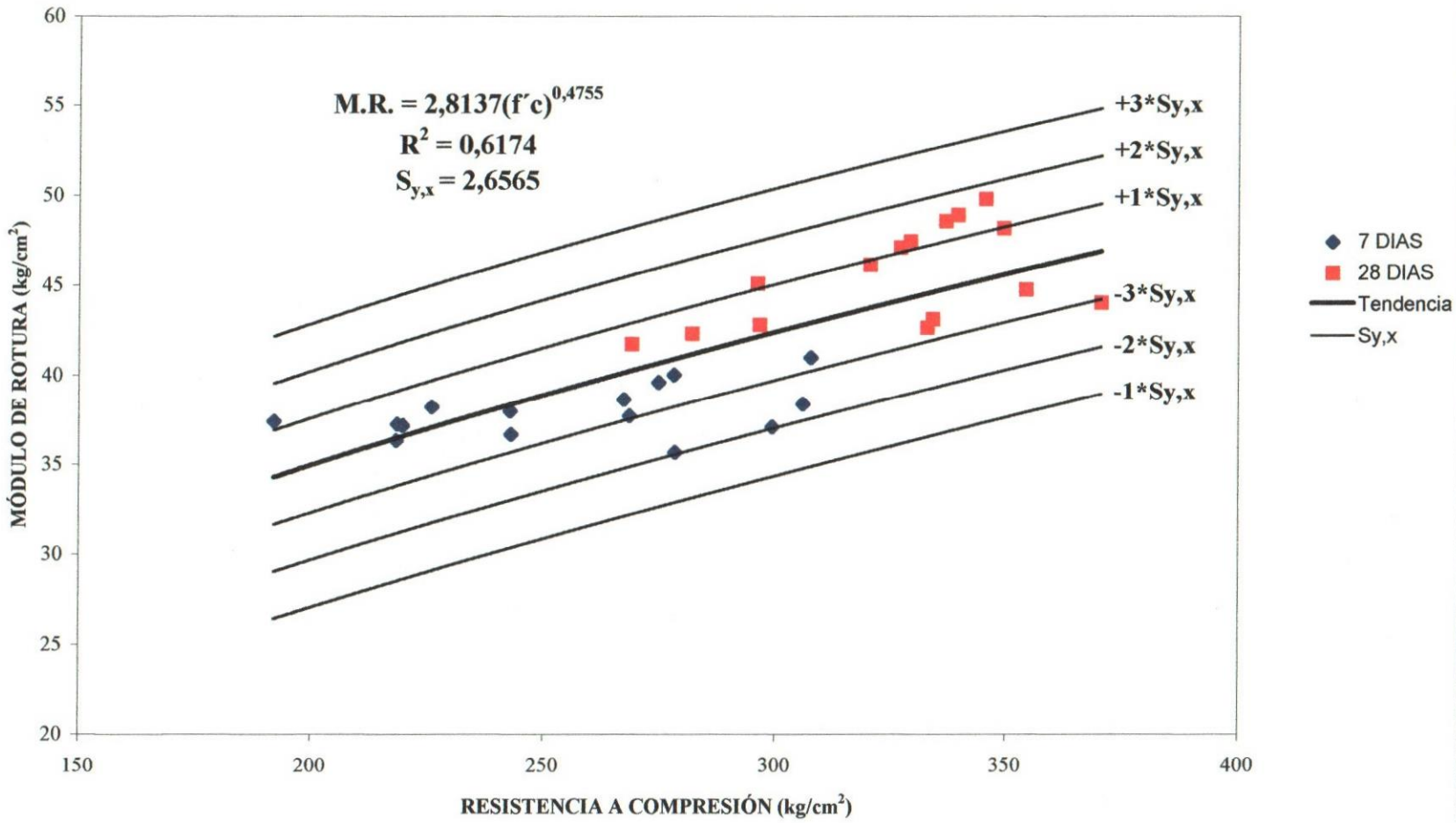


Gráfico 4.8.1. COMPRESIÓN vs. MÓDULO DE ROTURA
280 kg/cm^2

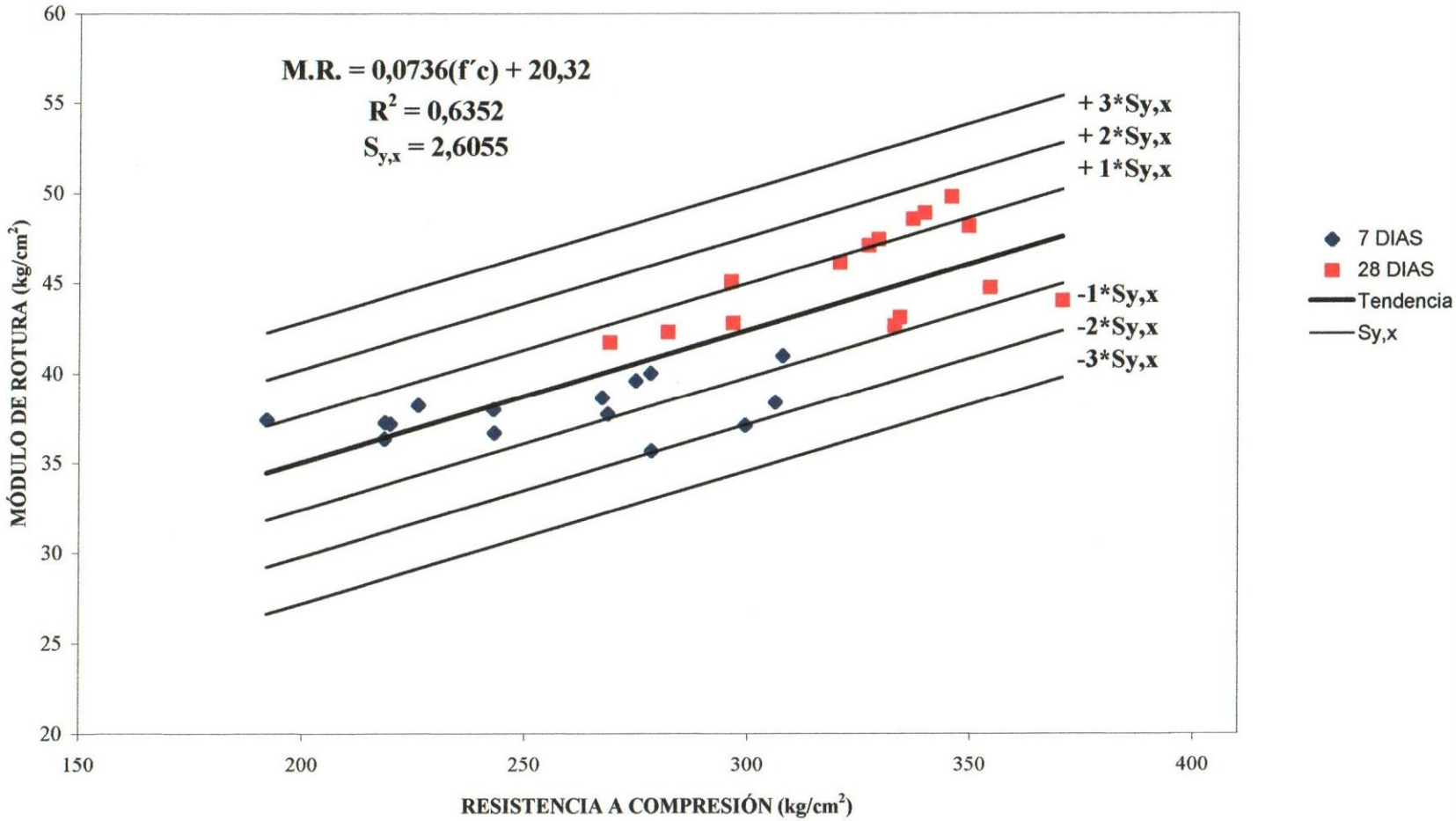
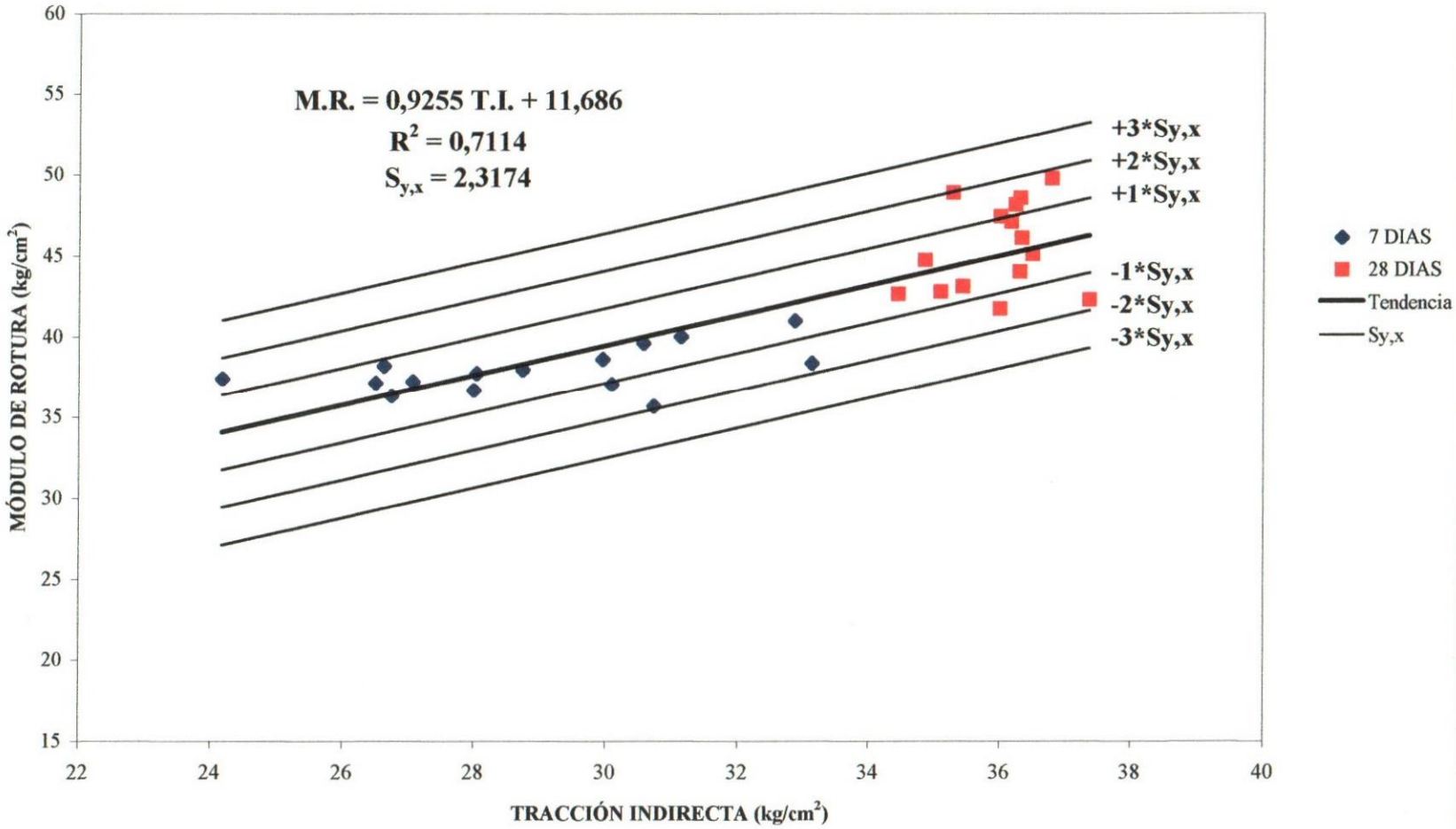


Gráfico 4.9. TRACCIÓN INDIRECTA vs. MÓDULO DE ROTURA
280 kg/cm^2



Resistencia	Compresión vs. Tracción	Compresión vs. Flexión (Potencial)	Compresión vs. Flexión (Lineal)	Tracción vs. Flexión
210 kg/cm²	**T.I.= 0,4269(f´c)^{0,7545}** R^2 = 0,8218 R = 0,9065 $S_{y,x}$ = 1,6109	**M.R.= 2,4891(f´c)^{0,4928}** R^2 = 0,6642 R = 0,8149 $S_{y,x}$ = 2,3095	**M.R. = 0,0794(f´c) + 17,985** R^2 = 0,6205 R = 0,7877 $S_{y,x}$ = 2,3311	**M.R.= 0,9515 T.I.+ 11,685** R^2 = 0,8076 R = 0,8987 $S_{y,x}$ = 1,6597
250 kg/cm²	**T.I.= 0,502(f´c)^{0,7229}** R^2 = 0,6907 R = 0,8311 $S_{y,x}$ = 2,0314	**M.R.= 2,878(f´c)^{0,4658}** R^2 = 0,5632 R = 0,7505 $S_{y,x}$ = 2,4410	**M.R. = 0,0688(f´c) + 20,462** R^2 = 0,5471 R = 0,7397 $S_{y,x}$ = 2,4527	**M.R.= 0,8115 T.I.+ 15,638** R^2 = 0,6313 R = 0,7945 $S_{y,x}$ = 2,2127
280 kg/cm²	**T.I.= 0,7534(f´c)^{0,6635}** R^2 = 0,7905 R = 0,8891 $S_{y,x}$ = 1,9290	**M.R.= 2,8137(f´c)^{0,4755}** R^2 = 0,6174 R = 0,7857 $S_{y,x}$ = 2,6565	**M.R. = 0,0736(f´c) + 20,32** R^2 = 0,6350 R = 0,7969 $S_{y,x}$ = 2,6055	**M.R.= 0,9255 T.I.+ 11,686** R^2 = 0,7114 R = 0,8434 $S_{y,x}$ = 2,3174

Tabla Nº 8. ECUACIONES DE CORRELACIONES

f´c: resistencia a compresión (kg/cm²)

T.I.: resistencia a tracción indirecta (kg/cm²)

M.R.: módulo de rotura (kg/cm²)

R^2: coeficiente de determinación.

R: coeficiente de correlación.

$S_{y,x}$: error de la estima (kg/cm²)

Tabla Nº 9. ERROR DE LA ESTIMA

		Error de la Estima (kg/cm^2)		
Resistencia	**Realaciones**	**$1*S_{y,x}$**	**$2*S_{y,x}$**	**$3*S_{y,x}$**
210 kg/cm^2	**f´c vs. T.I.**	70,00%	93,33%	100,00%
	f´c vs.M.R.	76,67%	93,33%	100,00%
	T.I. vs. M.R.	76,67%	96,67%	96,67%
250 kg/cm^2	**f´c vs. T.I.**	66,70%	100,00%	100,00%
	f´c vs.M.R.	80,00%	96,70%	100,00%
	T.I. vs. M.R.	66,70%	96,70%	100,00%
280 kg/cm^2	**f´c vs. T.I.**	76,67%	93,33%	100,00%
	f´c vs.M.R.	66,70%	100,00%	100,00%
	T.I. vs. M.R.	66,70%	96,70%	100,00%

f´c : Resistencia a Compresión
T.I. : Resistencia a Tracción Indirecta
M.R. : Resistencia a Flexión

Tabla Nº 10. Relación entre las resistencias a Compresión y Flexión.

210 kg/cm^2		**250 kg/cm^2**		**280 kg/cm^2**	
7 días	**28 días**	**7 días**	**28 días**	**7 días**	**28 días**
M.R./f´c	**M.R./f´c**	**M.R./f´c**	**M.R./f´c**	**M.R./f´c**	**M.R./f´c**
0,16	0,16	0,14	0,17	0,17	0,14
0,20	0,19	0,15	0,14	0,14	0,14
0,16	0,16	0,17	0,14	0,16	0,14
0,15	0,17	0,15	0,14	0,17	0,15
0,15	0,13	0,16	0,14	0,14	0,13
0,17	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14
0,16	0,15	0,14	0,14	0,17	0,15
0,16	0,16	0,14	0,12	0,13	0,13
0,20	0,13	0,17	0,15	0,19	0,16
0,17	0,16	0,18	0,13	0,13	0,13
0,18	0,15	0,14	0,16	0,13	0,12
0,18	0,15	0,18	0,17	0,12	0,14
0,17	0,15	0,16	0,15	0,14	0,14
0,17	0,15	0,17	0,16	0,15	0,14
0,17	0,15	0,15	0,12	0,17	0,14
MEDIAS					
0,17	**0,15**	**0,16**	**0,14**	**0,15**	**0,14**

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las propuestas presentadas en éste trabajo son sólo aplicables al sistema de producción industrializado del concreto en la planta La Bandera, para las mezclas estudiadas y sus condiciones específicas, donde el agregado utilizado es piedra picada de tamaño máximo 1" y sus propiedades características corresponden a agregados típicos de la zona Metropolitana de Caracas. Además, es importante recalcar que no esta documentado un criterio práctico para extrapolar los resultados obtenidos en este estudio a otros diseños de mezcla y/o condiciones diferentes de producción del concreto.

Este capítulo se inicia con el análisis de los parámetros estadísticos presentados en las tablas N° 7.1. a 7.18. Donde al comparar los resultados obtenidos de desviación típica y desviación promedio para los ensayos a compresión a 28 días (Tablas 7.4, 7.7 y 7.10) con los valores propuestos (Tablas 3 y 5) se puede calificar el control de calidad a compresión según la tabla N° 11.

Tabla N° 11.

Resistencia de diseño a compresión (kg/cm^2)	Grado de control según desviación típica	Grado de control según desviación promedio
210	Excelente	Excelente
250	Muy bueno	Usual a excelente
280	Muy bueno	Usual a excelente

Al comparar los resultados de desviación típica a compresión para los ensayos entre 7 y 28 días, se aprecia que en los diseños de 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 se obtuvieron dispersiones menores en los ensayos a 28 días (Tablas 7.1, 7.4, 7.13 y 7.16). Este comportamiento no se cumple para el diseño de 250 kg/cm^2, donde la desviación estándar a 28 días es mayor que a 7 días.

En los resultados obtenidos a tracción indirecta, los valores de desviación típica disminuyen a medida que aumenta la edad de ensayo. Lo que implica menor dispersión en los resultados a 28 días con respecto a los ensayos a 7 días (Tablas 7.2, 7.5, 7.8, 7.11, 7.14 y 7.17). Es de destacar que en la resistencia de diseño a 210 kg/cm^2, el rango de variación es mayor a 28 días que al obtenido a 7 días, lo que genera en el ensayo a 28 días un mayor grado de dispersión en los resultados obtenidos.

Comparando los valores propuestos en la tabla N° 4, con las desviaciones típicas obtenidas en los ensayos de tracción indirecta a 28 días, (Tablas N° 7.5, 7.11, y 7.17) se interpreta que para el diseño de 280 kg/cm^2 se obtuvieron valores de dispersión inferiores a los esperados, lo que significa que la dispersión en estos ensayos es menor, por tanto, los resultados son más uniformes.

En el mismo orden de ideas, para las resistencias de diseño de 210 kg/cm^2 y 250 kg/cm^2 se obtuvieron valores de desviación estándar levemente superiores a las propuestas en la Tabla N° 4, por lo que se observa en estos ensayo, dispersiones mayores en comparación al diseño de 280 kg/cm^2. Este comportamiento se verifica si se observan los rangos de variación a 28 días en estos ensayos, donde la resistencia de diseño 280 kg/cm^2, presenta un rango de variación significativamente menor comparado con los obtenidos en las otros dos casos.

Para el caso de ensayos a flexión, se aprecia mayor dispersión en los resultados a 28 días con respecto a los 7 días, para todos los casos de diseño estudiados (Tablas N° 7.3, 7.6, 7.9, 7.12, 7.15 y 7.18). Adicionalmente, al comparar los valores propuestos en la Tabla N° 4, para desviación estándar a flexión a 28 días, con los obtenidos en las Tablas N° 7.6, 7.12 y 7.18, se observa que para el diseño de 280 kg/cm^2, el resultado obtenido es levemente superior al propuesto. Pero en líneas generales, para los tres casos de estudio, las desviaciones típicas a flexión a 28 días son aceptables en comparación a los valores propuestos en la Tabla N° 4.

Para ilustrar con mayor claridad las ideas expresadas anteriormente, se elaboraron las cartas de control (gráficos N° 1.1. a 1.18.), con la finalidad de observar la variabilidad de los resultados con respecto a la media, en todos los casos estudiados.

Adicionalmente, se realizaron los histogramas de frecuencias, representados en los gráficos Nº 2.1. a 2.18, donde se compararon con sus respectivas curvas normales, con el objeto de analizar el comportamiento de las variables estudiadas.

La curva normal teórica de una variable cualquiera, se obtiene en función del valor promedio y la desviación estándar de los resultados de los ensayos. Es importante acotar que no es válido afirmar que una variable presenta un comportamiento normal por simple inspección visual, al comparar su histograma de frecuencias con la respectiva curva normal. Por esta razón existen procedimientos matemáticos para confirmar si una variable cualquiera es normal o no.

El procedimiento matemático más común para normalizar una variable, es la transformación de sus datos mediante la aplicación de funciones matemáticas típicas. Pero para implementar esta metodología, se requiere experiencia previa para estimar cual o cuales funciones matemáticas pueden transformar una variable a un comportamiento normal, por lo que implica un procedimiento poco práctico en algunos casos. Adicionalmente, al transformar una variable, sus unidades también se transforman, y por consiguiente se complica la interpretación de los gráficos y resultados de las correlaciones cuando una o ambas variables están transformadas, y aún más, cuando las funciones matemáticas empleadas son diferentes.

Para finalizar esta breve introducción sobre el comportamiento normal de las variables de estudio, es importante mencionar que algunos autores proponen que al comparar los coeficientes de determinación R^2 de una curva de ajuste con las variables transformadas con el R^2 obtenido usando las variables sin transformar, la diferencia entre ambos coeficientes no es relevante.

Analizando los histogramas obtenidos (gráficos 2.1. a 2.18), y al compararlos con las curvas normalizadas de cada uno de ellos, se puede observar para todos los casos en general, que no se puede afirmar el comportamiento normal de las variables sin aplicar un procedimiento matemático válido. Esto se debe a que el universo de muestras tomadas es limitado, y por la dispersión y variabilidad de los resultados obtenidos.

Como se menciona anteriormente, no es práctico para los fines de esta investigación, aplicar una función matemática a los resultados obtenidos para obtener una distribución normal de las variables, ya que esto produce que las correlaciones queden expresadas en unidades diferentes a las esperadas, obligando así a utilizar factores de transformación para obtener el valor final.

A continuación, se presenta el análisis de las curvas de correlación obtenidas, donde en el estudio de la relación compresión vs. tracción se obtiene un comportamiento representado por un modelo matemático potencial. La curva propuesta explica mejor los resultados obtenidos en comparación con los otros modelos matemáticos ensayados, debido a que esta presenta un coeficiente de correlación más cercano a la unidad en comparación con los otros modelos.

Comparando la curva propuesta en la relación compresión vs. tracción con la ecuación [14] (Capítulo II, sección II.7.3), se puede apreciar en la tabla N° 12, que solo la relación obtenida para la resistencia de 280 kg/cm^2, se encuentra dentro del rango propuesto para el valor de la constante "C". Por lo contrario, el valor de esta constante para el diseño de 250 kg/cm^2 es sensiblemente menor al mínimo esperado, y en el caso de 210 kg/cm^2, el valor de la constante C es inferior al mínimo propuesto, en el orden de las décimas.

Tabla N° 12.

Resistencias	Valores Propuestos		Valores Obtenidos	
	C	Exponente	C	Exponente
210 kg/cm^2	0,48 - 0,70	0,6667	0,388	0,7545
250 kg/cm^2			0,456	0,7229
280 kg/cm^2			0,680	0,6635

Adicionalmente, si comparamos los exponentes de las ecuaciones obtenidas con el de la ecuación [14], se observa que para el caso de diseño de 280 kg/cm^2, el valor es muy similar al esperado, pero en los otros dos casos, los exponentes obtenidos son solo levemente superiores al propuesto. Por las razones antes expresadas, y dado a que las ecuaciones

obtenidas para la relación entre compresión y tracción son significativamente similares, se puede decir que esta correlación presenta una tendencia de ajuste similar a la ecuación [14]. En el análisis de la correlación entre compresión y flexión, las ecuaciones para las resistencias de 210 kg/cm^2 y 250 kg/cm^2 son explicadas mediante un modelo potencial, y para la resistencia de 280 kg/cm^2 según un modelo lineal. En el modelo lineal, las pendientes y las constantes de las rectas son significativamente parecidas para las resistencias en estudio. Ambas relaciones (lineal y potencial) presentan valores similares de coeficiente de correlación. Debido a que un modelo matemático no se puede expresar para diferentes relaciones, se puede asumir que la correlación entre las variables compresión vs flexión se explica mejor mediante un modelo potencial.

Comparando los exponentes obtenidos en el modelo potencial con el valor planteado en la ecuación [13] (Capítulo II, sección II.7.2), se observa que estos se encuentran muy cercanos al valor propuesto de 0,5. Simultáneamente a este análisis, si se compara el valor de la constante (2,56) propuesto en la ecuación [13] con los obtenidos, se aprecia que los valores presentados en la tabla N° 13, son cercanos al propuesto, donde en los diseños de 250 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 son levemente superiores y el de 210 kg/cm^2, se encuentra muy próximo al planteado.

Tabla N° 13

Resistencias	Valores Propuestos		Valores Obtenidos	
	Constante	Exponente	Constante	Exponente
210 kg/cm^2	2,56	0,5	2,4891	0,4928
250 kg/cm^2			2,8780	0,4658
280 kg/cm^2			2,8137	0,4755

Adicionalmente, en el análisis de la relación compresión-flexión, se estudió el factor M.R./f'c para la edad de 28 días, propuesto en la tabla N° 1 del marco teórico (sección II.7.2) con los obtenidos en la tabla N° 10. Para los diseños de 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 se aprecia que los valores medios de este factor se encuentran por debajo de los valores propuestos. Este

comportamiento se puede adjudicar al hecho de que los resultados obtenidos en los ensayos a compresión para todas las resistencias estudiadas, arrojaron valores superiores a los esperados.

Debido a que la tabla N° 1 no aporta un factor M.R./f'c como referencia para la resistencia de 250 kg/cm^2, se interpoló entre los valores propuestos para 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2, y se obtuvo un factor M.R./f'c = 0,154, para 250 kg/cm^2 a 28 días. Al comparar el valor promedio obtenido en la tabla N° 10, se aprecia nuevamente que la media es inferior al resultante de la interpolación. Esto se puede explicar igualmente por el comportamiento antes mencionado en las resistencias de 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2. Aunque la comparación realizada para el diseño de 250 kg/cm^2 no está basada en una propuesta previa, se consideró presentarla de esta forma para tener una idea del comportamiento de este caso en particular.

Del análisis de correlaciones entre tracción indirecta y módulo de rotura, se presenta un comportamiento similar entre las ecuaciones propuestas. Al comparar las pendientes y las constantes de las rectas, en todos los casos se aprecia que estos parámetros son significativamente parecidos. Al comparar los coeficientes de determinación obtenidos en estos casos se interpreta que este tipo de correlación se puede explicar con un modelo matemático lineal, lo que confirma las propuestas teóricas planteadas.
Para el análisis de esta correlación, se tomo como parámetro de referencia el estudio hecho para estas dos variables por Adam Neville, donde se confirma una relación del tipo lineal como recta de mejor ajuste. Si se comparan los resultados obtenidos con la recta de correlación propuesta por Adam Neville, se puede observar que estas presentan un comportamiento similar; las pendientes de las rectas obtenidas son similares a la de la recta de Neville, esto se aprecia en los gráficos N° 3.3, 3.6 y 3.9, donde se observa cierto paralelismo entre ambas rectas, sin embargo, las rectas obtenidas se desplazan verticalmente hacia abajo, lo que puede explicarse, como lo propuso Neville, que las correlaciones son independientes de la edad de ensayo, más no de los componentes usados en la elaboración de las mezclas.

En general, las ecuaciones propuestas entre tracción indirecta y flexión explican mayor porcentaje de casos que las relaciones propuestas entre compresión y flexión. Esta afirmación se basa en el criterio que al comparar los coeficientes de determinación obtenidos en estas

correlaciones, todos los valores obtenidos de R^2 se acercan más a la unidad entre tracción indirecta y flexión que los valores de R^2 obtenidos entre compresión y flexión.

Para ilustrar adecuadamente el comportamiento de las correlaciones propuestas dentro de los límites del error de estimación, se muestra la tabla N° 9. En esta se encuentran los porcentajes de valores graficados dentro de los rangos más menos una vez, dos veces y tres veces el error de estimación respectivamente.

Al comparar los porcentajes obtenidos, con los teóricos propuestos en la misma tabla, se aprecia que en todos los casos, excepto en la relación tracción vs. flexión para la resistencia de 210 kg/cm^2, los puntos graficados se encuentran dentro del rango ± 3 veces el error de la estima. De donde se afirma que las curvas propuestas explican adecuadamente las correlaciones estudiadas. Es conveniente mencionar que en el caso excepcional de la relación tracción vs. flexión para la resistencia de 210 kg/cm^2, esta es solo tres puntos porcentuales por debajo del esperado en el rango más amplio de ± 3 veces el error estimado.

A continuación se plantea el análisis del gráfico N° 5, donde se comparan los promedios de las resistencias obtenidas a flexión y tracción indirecta para cada resistencia de diseño, con la cantidad de cemento utilizado en cada caso. En este gráfico se aprecia efectivamente que el incremento de la cantidad de cemento sí influye significativamente en el aumento de la resistencia a flexión y tracción indirecta del concreto. Esta afirmación se basa en el hecho que incrementos en el orden de 3 kg/cm^2, sí es representativo para estas resistencias.

Para verificar la influencia económica que tienen las correlaciones obtenidas en el diseño de mezclas utilizadas para pavimentos rígidos, se procedió a evaluar el promedio de los resultados obtenidos para cada una de las resistencias estudiadas en las ecuaciones de correlaciones, con el fin de observar la variabilidad de los resultados por diferentes métodos de evaluación.

En la tabla N° 13 se presentan las ecuaciones obtenidas de correlaciones para los tres casos de resistencias estudiados, evaluando los valores promedio de resistencias (tabla N° 14), en cada

una de las ecuaciones, se obtuvieron los valores de resistencias f'c, T.I. y M.R. (tabla Nº 15), y posteriormente compararlos con los valores de resistencia promedio.

Tabla Nº 14

Resistencia	Compresión vs. Flexión (a)	Compresión vs. Flexión (b)	Tracción vs. Flexión (c)
210 kg/cm²	$T.I.= 0,4269(f'c)^{0,7545}$	$M.R.= 2,4891(f'c)^{0,4928}$	M.R.= 0,9515 T.I.+ 11,685
250 kg/cm²	$T.I.= 0,502(f'c)^{0,7229}$	$M.R.= 2,878(f'c)^{0,4658}$	M.R.= 0,8115 T.I.+ 15,638
280 kg/cm²	$T.I.=0,7534(f'c)^{0,6635}$	$M.R.= 2,8137(f'c)^{0,4755}$	M.R.= 0,9255 T.I.+ 11,686

Tabla Nº 15.

Resistencia	$f'_{c\ prom}$	$T.I._{prom}$	$M.R._{prom}$
210 kg/cm²	255,62	28,44	38,91
250 kg/cm²	287,00	30,78	41,17
280 kg/cm²	325,60	35,93	45,49

Tabla Nº 16.

Resistencia	f'c [a]	f'c [b]	TI [a]	TI [c]	MR [b]	MR [c]
210 kg/cm²	261,20	264,81	27,95	28,61	38,21	38,74
250 kg/cm²	297,01	302,45	30,03	31,46	40,18	40,61
280 kg/cm²	338,58	348,20	35,01	36,53	44,05	44,94

Después de realizar este estudio con las ecuaciones de correlación, se puede observar que los resultados obtenidos a través del uso de las relaciones son similares a los valores de las medias para cada caso de resistencia y ensayo, observándose dispersiones mayores en los resultados de resistencias a compresión. Los valores obtenidos con las correlaciones para esta variable, en todos los casos resultan superiores a los valores promedio.

De lo antes expuesto, se puede decir, que si se utilizan las ecuaciones de correlación para estimar los valores de resistencias, no se generan grandes dispersiones entre estos y los promedios, por lo que el uso de las correlaciones no tiene un impacto significativo en el estudio del diseño de mezclas.

Los últimos aspectos a analizar en esta sección están orientados al comportamiento de las variables estudiadas, que no están incluidos dentro del alcance de este trabajo, pero es conveniente exponerlas como un análisis adicional dentro de la investigación.

En el Anexo N° 28 se presenta la tabla que ilustra el factor de crecimiento entre las resistencias estudiadas. Al comparar los resultados obtenidos con la relación propuesta en la ecuación [32] se observa, que todos los valores son semejantes al propuesto e incluso el promedio de desviaciones típicas obtenidas es inferior al esperado, de donde se puede interpretar que el desarrollo de resistencias obtenidas se encuentra dentro del rango recomendado.

En el Anexo N° 29 se presenta el porcentaje de crecimiento promedio de las resistencias estudiadas entre las edades de ensayo. En estos gráficos se aprecia que las resistencias obtenidas a 7 días son superiores al 70 % teórico esperado para la resistencia de diseño.
Como último aspecto a analizar, en los gráficos del Anexo N° 30 se presenta la relación entre el módulo de rotura obtenido a través de los ensayos a flexión, y el módulo de rotura al evaluar los resultados de los ensayos a tracción indirecta en la ecuación propuesta por Neville. Como relación patrón, se graficó una recta de pendiente igual a uno (1), con el objeto de representar la relación ideal entre ambas variables.

Al analizar la recta de tendencia de los resultados obtenidos con la recta patrón, se aprecia que la relación obtenida se ubica en el gráfico por debajo de la recta ideal. Este comportamiento era de esperarse ya que los valores de resistencia obtenidos en los ensayos son menores a los obtenidos por la ecuación de Neville. Es de destacar que los resultados de los ensayos de vigas a flexión obtenidos están dentro del rango de valores esperados.

CONCLUSIONES

El trabajo realizado en esta investigación y los conocimientos adquiridos durante el período de ejecución del mismo, permiten evaluar los resultados obtenidos sobre la base de las teorías estudiadas, de donde se plantean las siguientes conclusiones:

- La relación existente entre los ensayos de compresión y tracción indirecta presenta un mejor ajuste al modelo potencial, donde se aprecia que las correlaciones obtenidas para los tipos de diseño de mezclas estudiados son significativamente similares a la ecuación propuesta en el marco teórico. Las correlaciones propuestas entre las variables de tracción indirecta vs flexión son las que arrojaron mejor coeficiente de correlación para estimar el módulo de rotura del concreto, por lo que se puede decir que esta correlación es la que presenta un mejor ajuste de los valores obtenidos con respecto a la curva de regresión.

- Para la relación entre los ensayos de compresión y flexión, el modelo que presenta un mejor ajuste es del tipo potencial. Si se comparan las ecuaciones obtenidas con la propuesta en el marco teórico, se puede observar que estas presentan comportamientos similares, lo cual le da mayor validez al relación obtenida entre estas variables.

- Se verifica una relación lineal entre el módulo de rotura y la resistencia a tracción indirecta del concreto, para los casos de los diseños de mezcla utilizados en este estudio. Éstas relaciones se representan a través de las expresiones matemáticas planteadas en la tabla N° 8 del análisis de resultados. Además, se observa que ésta relación lineal no coincide con la planteada por Adam Neville [13]; sin embargo, las ecuaciones obtenidas poseen pendientes similares a la relación de Neville, de lo cual se puede interpretar que ésta relación es independiente de la edad de ensayo, tal como afirmaba Neville.

- El crecimiento de las resistencias, a flexión, tracción y compresión del concreto se desarrollan más rápido durante los primeros días de curado (7días). Este comportamiento se puede apreciar en el Anexo Nº 29, se observa que el porcentaje de resistencia alcanzado, en los tres tipos de ensayos, a los siete días resulta mayor al porcentaje teórico esperado, que se estima en un 70 % de la resistencia de diseño.

- Los resultados obtenidos de desviaciones estándar y promedio, para los tipos de resistencias estudiadas (tablas Nº 6.1. a 6.18.), están dentro de los rangos propuestos en el marco teórico en las tablas Nº 2 y Nº 3 (Capítulo II, II.9.3. y II.9.5), de donde se concluye que el control de calidad realizado en la planta la Bandera se puede considerar como bueno, según el criterio propuesto en la norma COVENIN 1976-87 "Evaluación de los Métodos de Resistencia del Concreto".

- Al aplicar las correlaciones obtenidas para determinar los valores de resistencia, se concluye que no se genera un impacto económico significativo en el diseño y evaluación de mezclas usadas para fabricar pavimentos de concreto, debido a que la dispersión de los valores con respecto a la media son aproximados.

- Según los resultados obtenidos en el gráfico Nº 5, el cemento sí es un componente fundamental en el comportamiento a flexión del concreto.

Es de destacar que lo concluido anteriormente se cumple para las mezclas de concreto cuyas características han sido definidas en este trabajo; la extrapolación de éstas a otras condiciones pudiera ser objeto de estudio en futuras investigaciones.

RECOMENDACIONES

Basándose en las conclusiones y las experiencias adquiridas durante la ejecución de esta investigación, se pueden dar las siguientes recomendaciones:

- Realizar estudios similares para otros diseños de mezclas, variando los tipos de agregados y las proporciones de los materiales componentes del concreto, para así obtener información adicional de la influencia del tipo de agregado en la relación lineal que existe entre los ensayos a tracción indirecta y flexión, para verificar si existe un comportamiento similar al obtenido en esta investigación, en esos ensayos posteriores, y verificar si existe una dependencia entre el tipo de agregado y las variables de tracción indirecta y flexión.

- Se recomienda realizar ensayos de cilindros a tracción indirecta en lugar de ensayos a compresión para estimar el módulo de rotura del concreto.

- Los resultados obtenidos en esta investigación se deben usar solo para concreto fabricado en la planta de premezclado La Bandera, o para casos específicos de diseños de mezclas elaborados bajo las mismas condiciones industriales y con materiales de características similares a los usados en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

CEVALLOS, María y ZAMBRANO, José (1999) **Correlación entre Resistencia a Flexión y Tracción Indirecta en Cilindros para Concreto Utilizados en Pavimentos Rígidos**. Trabajo de Grado no Publicado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

COVUCCI, Pascuale y VALERO, Rafael (2000) **Estimación del Módulo de Rotura del Concreto a través de Ensayos de Probetas Cilíndricas**. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional. Caracas. Venezuela.

Ensayos de laboratorio y Especificaciones Tercera Edición (1976) Comité Conjunto del Concreto Armado. Caracas. Venezuela.

HOWLAND, Juan (s.f.) **Elementos de Estadística y Diseño de Experimentos en la Tecnología del Hormigón**. Ministerio de la Construcción. Cuba.

KENNEDY, John; Neville, Adam (1982) **Estadística para Ciencias e Ingeniería**. Editorial Harla 2ª Edición. México.

LÓPEZ CASUSO, Rafael (1984) **Introducción al Cálculo de Probabilidades e Inferencia Estadística**. Caracas. Venezuela.

Neville, A. M. (1977). **Tecnología del concreto**, Tomo 1 y Tomo 2, Instituto Mexicano del Cemento y el concreto, A. C. México.

PORRERO, Joaquín; RAMOS Carlos; GRACES, José. **Manual del Concreto Fresco**. Segunda Edición (1979). Asociación Venezolana de Sistemas de Paredes Estructurales. Caracas.

PORRERO, Joaquín; SALAS, Rafael; RAMOS, Carlos; GRASES, José; VELAZCO, Gilberto (1996) **Manual del Concreto**. SIDETUR. Venezuela.

RICHAR I. LEVIN (1988); **Estadística para Administradores**, Segunda Edición; Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México.

SÁNCHEZ TREJO, Roberto (1969) **Discusión de los Métodos Estadísticos para el Control de Calidad del Concreto**. Conferencia dictada en la sala de clases del IMCYC.

SHARP; MUN; SHACKLOCK (s.f.). **Informe Técnico del experimento vial AASHO con referencia especial a los pavimentos de concreto.** Cement and Concrete Association. Londres, Inglaterra.

Seminario de Pavimentos Rígidos (1995) SIDETUR, AVPC. Venezuela.

SPIEGEL, Murray (1970) **Estadística. Teoría y 875 problemas resueltos**. McGraw-Hill. México.

Veinte Métodos de Diseño de Concreto (s.f.) Manuales y Normas del Instituto Eduardo Torroja. Dosificación de Hormigones.

VENCEMOS, Pavimentos de Concreto (s.f.) **Programas para la Certificación de la Fuerza de Venta**. Caracas. Venezuela.

NORMAS CONSULTADAS

COVENIN 337-78. **Definiciones y Terminología Relativas al Concreto**. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1978.

COVENIN 338-94. **Concreto, Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto**. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1994.

COVENIN 339-94. **Concreto, Método para la Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams**. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1994.

COVENIN 340-79. **Método para la Elaboración y Curado en el Laboratorio de Probetas de Concreto para Ensayos de Flexión**. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas,1979.

COVENIN 341-79. **Método de Ensayo para determinar la Resistencia a Tracción Indirecta del Concreto usando Probetas Cilíndricas**. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas,1979.

COVENIN 342-79. **Método de Ensayo para determinar la Resistencia a Tracción por Flexión del Concreto en Vigas simplemente apoyadas, con cargas a los tercios del tramo**. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas,1979.

COVENIN 344-92. **Concreto Fresco**. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas,1992.

COVENIN 633-92. **Concreto Premezclado. Especificaciones**. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas,1992.

COVENIN 1976-87. **Evaluación de los Ensayos de Resistencia del Concreto**. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas,1987.

GLOSARIO

ADITIVO: Es el material que aparte del cemento, los agregados y el agua empleados normalmente en la preparación de una mezcla, puede añadirse antes o durante la confección de la misma con el objeto de modificar algunas de sus propiedades en la forma deseada.

AGREGADOS: Son los constituidos por materiales generalmente inertes, naturales o no, y de forma estable, apropiados para la confección de morteros y concreto.

AGREGADO FINO: Es aquella porción de un agregado que pasa por el tamiz N° 4 (4,76 mm.) y es retenido en el tamiz N° 200.

AGREGADO GRUESO: Es aquella porción de un agregado retenido en el tamiz N° 4 (4,76 mm.).

AIRE ATRAPADO: Es la cantidad de aire propia de una mezcla después de ser compactada.

ALABEO: Resultado de doblarse o deformarse con el calor o por otra causa.

ASENTAMIENTO: Es la diferencia entre la altura del recipiente (cono de Abrams), que sirvió de molde de una probeta de concreto fresco y la de la probeta fuera del molde, medida en el eje y expresada en pulgadas.

BASE: Es una capa del pavimento constituida por mínimo dos subcapas de mezclas asfálticas con materiales granulares con CBR>80 para tránsito pesado y CBR>60 para tránsito liviano, ó conformada por suelos estabilizados. Su función es la de soportar las cargas verticales por el tránsito y distribuirlas a las capas inferiores sin sufrir deformaciones permanentes.

CAPPING: Proceso de colocar capas de cierto grosor, moldeadas con una preparación en base a un compuesto de azufre, para permitir el ajuste perfecto del cabezal de la prensa sobre la probeta cilíndrica.

CONCRETO: Es la mezcla constituida por el cemento, agregados inertes (finos y gruesos) y agua, en proporciones adecuadas para obtener resistencias prefijadas.

CONCRETO FRESCO: Es el estado del concreto previo al comienzo del fraguado.

CONCRETO PREMEZCLADO: Es el concreto dosificado en una planta y transportado a obra generalmente por camiones mezcladores o agitadores.

COMPACTACIÓN: Es el proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de una masa de mortero o de concreto fresco.

CORRELACIÓN: Grado de interconexión entre variables, que intenta determinar con que precisión describe o explica la relación entre variables una ecuación lineal o de cualquier otro tipo.

CURADO: Es el proceso de mantener o reponer la humedad que pudiera perder el concreto por evaporación del agua, necesaria para que en éste se desarrollen las reacciones de hidratación del cemento.

DOSIFICACIÓN: Es la proporción en peso o en volumen de los distintos elementos que integran una muestra.

ENSAYO: Ensayo o prueba; es el acto de someter a un espécimen, probeta o parte de un material a una serie de análisis, esfuerzos o determinaciones que permitan conocer de sus características o propiedades.

ESFUERZO: Fuerza a la cual esta sometida una sección de un elemento.

FRAGUADO: Es fundamentalmente un proceso de hidratación de los distintos componentes de un aglomerante hidráulico por el cual éste adquiere una mayor consistencia puesta en evidencia por ensayos tipificados.

GRANULOMETRÍA: Distribución del material granular según los distintos tamaños que lo contengan, expresados en forma de porcentaje acumulado del material que pasa un conjunto de tamices, comenzando con el de mayor abertura y terminando con el de abertura menor.

MEZCLA: Es la cantidad de concreto o mortero que se prepara de una sola vez.

MUESTRA: Conjunto de observaciones tomadas de una fuente o población, con el objetivo de obtener información de ella. También una muestra es, un subconjunto de la población que contiene las mediciones obtenidas mediante un experimento.

MUESTREO: Selección de miembros de una población al azar.

PRESICIÓN: Es la regularidad con que se repite el resultado de la medición efectuada. Para poder determinar la precisión cuando se efectúan ensayos destructivos es necesario la toma de dos o más probetas.

PROBETA: Parte de una porción de lo que se va a analizar o ensayar, que puede tener forma de prisma, cilindro, cubo, etc...

RELACIÓN AGUA-CEMENTO (α): Es el cociente entre el peso del contenido de agua libre de mezclado y el de cemento en una mezcla dada.

SUB-BASE: Es una capa del pavimento, que puede estar constituida por una o más capas de sub-base, por materiales granulares con un CBR>20 y menor que la capa de base, o por suelos estabilizados.

SUB-RASANTE: Es la capa que se encuentra entre el pavimento y el terreno natural. Recibe y resiste las cargas del transito que le son transmitidas por la estructura del pavimento. Transmite y distribuye de modo adecuado las cargas del tránsito al terraplen. Le da uniformidad y economía a los espesores del pavimento.

TAMAÑO MÁXIMO: Es la abertura del tamiz de malla menor a través del cual puede pasar como mínimo el 95 % del agregado.

TRABAJABILIDAD: Es la mayor o menor facilidad que presenta un concreto o mortero de ser mezclado, transportado y colocado.

VACIADO: Es la operación de llenar los moldes con concreto.