

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO CON
ADICIÓN DE LIMADURAS DE HIERRO FUNDIDO**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por el Bachiller:

JHONY EDUARDO CHÁVEZ RAVINES

Asesor:

Dr. Ing. Homero Bardales Taculí

Cajamarca, diciembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Facultad de Ingeniería y a la M.Cs. Ing. Katherine Fernández León, directora de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil.

Al Doc. Ing. Homero Bardales Taculí, asesor del presente proyecto de investigación por su apoyo constante durante su ejecución.

Al M.Cs. Ing. Wilfredo Fernández Muñoz, asesor metodológico, por la guía y ayuda constante en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

DEDICATORIA

A mis padres y hermana:

María Marcia Ravines Hernández

Joel Chávez Abanto

Jenny Carmela Chávez Ravines, por su incondicional apoyo y comprensión.

Contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	2
II.	MARCO TEÓRICO	6
2.1	Antecedentes teóricos de la investigación	6
2.1.1	Antecedentes a nivel internacional	6
2.1.2	Antecedentes a nivel de Sudamérica.....	7
2.1.3	Antecedentes a nivel nacional.....	8
2.1.4	Antecedentes a nivel local	8
2.2	Bases teóricas.....	8
2.2.1	Agregado	8
2.2.2	Características físicas de los agregados	13
2.2.3	Cemento.....	21
2.2.4	El agua en el concreto.....	26
2.2.5	Concreto	27
2.2.6	Diseño de mezclas por el método: Módulo de fineza de la combinación de agregados	39
2.2.7	Limaduras de hierro fundido	46
2.3	Definición de términos básicos	47
2.3.1	Acelerante.	47
2.3.2	Aditivo.....	47
2.3.3	Agregado bien graduado.....	47
2.3.4	Agregado que pasa.....	47
2.3.5	Agregado retenido.....	47
2.3.6	Arena gradada.	47
2.3.7	Canto rodado.	47
2.3.8	Curva granulométrica.....	48
2.3.9	Granulometría.....	48
2.3.10	Probeta (testigo).....	48
2.3.11	Curado.....	48
2.3.12	Diseño de mezcla.....	48
2.3.13	Durabilidad.....	48
2.3.14	Escoria (Slag).....	48
2.3.15	Limalla (Limaduras).....	49
2.3.16	Módulo de elasticidad.....	49

2.3.17	Módulo de rotura.....	49
2.3.18	NTP (NTP).....	49
2.3.19	Piedra triturada o chancada.....	49
2.3.20	Resistencia.....	49
2.3.21	Segregación.....	49
2.3.22	Viruta de acero (Steel wool).....	49
III.	MATERIALES Y MÉTODO	51
3.1	Cantera de estudio	51
3.2	Materiales de ensayo	52
3.2.1	Materiales de experimentales.....	52
3.2.2	Equipo experimental	52
3.3	Procedimiento	53
3.3.1	Tipo de investigación.....	53
3.3.2	Etapas del trabajo de investigación	54
3.3.3	Población y muestra.....	56
3.3.4	Prueba de resistencia a la compresión de especímenes.....	58
3.4	Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados.....	58
3.4.1	Tratamiento de los datos.....	58
3.4.2	Análisis de la información.....	59
3.4.3	Corrección de errores.....	61
3.4.4	Formulación de funciones y construcción de curvas de comportamiento.....	64
IV.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
4.1	Características físicas de los agregados.....	66
4.1.1	Forma	66
4.1.2	Textura	66
4.1.3	Análisis granulométrico en seco por tamizado (NTP 400.037)	67
4.1.4	Módulo de Finura	69
4.1.5	Tamaño máximo del agregado (NTP 400.011).....	69
4.1.6	Peso específico y absorción (NTP 400.021 y NTP 400.022).....	69
4.1.7	Peso unitario y contenido de humedad.....	71
4.1.8	Resistencia a la abrasión (NTP 400.019 y NTP 400.020).....	72
4.2	Características físicas de las limaduras de hierro fundido.....	74
4.2.1	Análisis granulométrico.....	74

4.2.2	Módulo de finura	75
4.2.3	Peso específico	75
4.3	Propiedades del concreto fresco	76
4.3.1	Peso unitario y consistencia del concreto.....	76
4.4	Propiedades del concreto endurecido	79
4.4.1	Resistencia a la compresión a los 7 días.....	79
4.4.2	Resistencia a la compresión a los 14 días.....	83
4.4.3	Resistencia a la compresión a los 28 días.....	87
4.4.4	Resistencia a la compresión a los 28 días, diseños adicionales	91
4.4.5	Evolución de la resistencia a la compresión de las probetas.....	94
4.4.6	Resumen de los ensayos a compresión.....	98
4.4.7	Comparación con otras investigaciones.....	99
4.5	Contrastación de Hipótesis	101
4.5.1	Prueba para estudio comparativo.....	101
4.5.2	Prueba relación causal	103
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
1.1	Conclusiones.....	107
1.2	Recomendaciones.....	108
	REFERENCIAS.....	110
	ANEXO I. Diseño de mezcla	117
	ANEXO II. Diagramas Esfuerzo-Deformación 28 días de edad	123
	ANEXO III. Guía de toma de datos	140
	ANEXO IV. Panel fotográfico	141

Índice de tablas

1. Granulometría del agregado fino.....	10
2. Requisitos granulométricos del agregado grueso.....	11
3. Carga abrasiva.....	20
4. Gradaciones de muestras de ensayo.....	21
5. Componentes químicos del cemento.....	22
6. Porcentajes de Óxidos en el cemento.....	22
7. Calor de hidratación para cada tipo de cemento portland.....	24
8. Límites permisibles para agua de mezcla y de curado.....	27
9. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.....	39
10. Relación entre la resistencia promedio y la resistencia de diseño.....	40
11. Consistencia, asentamiento y trabajabilidad del hormigón.....	40
12. Volumen unitario de agua.....	41
13. Volumen unitario de agua para los asentamientos y perfiles de agregado grueso.....	42
14. Contenido de aire atrapado.....	43
15. Contenido de aire incorporado y total.....	43
16. Relación agua – cemento de diseño en peso.....	44
17. Relación agua – cemento en peso para agregado grueso del tamaño nominal indicado.....	44
18. Módulo de fineza de la combinación de agregados.....	45
19. Componentes adicionales de la limadura de hierro fundido.....	46
20. Tipo y nivel de investigación.....	53
21. Variable, niveles y tratamientos en estudio.....	53
22. Diseño experimental.....	57
23. Especímenes adicionales.....	57
24. Análisis granulométrico del agregado fino.....	67
25. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	68
26. Gravedad específica y absorción del agregado fino.....	69
27. Peso específico y absorción del agregado grueso.....	70
28. Peso unitario y contenido de humedad del agregado fino.....	71
29. Material que pasa el tamiz N°200.....	71
30. Peso unitario y contenido de humedad del agregado grueso.....	72
31. Resistencia a la abrasión del agregado grueso.....	72
32. Análisis granulométrico de las limaduras de hierro fundido.....	74

33.	Peso específico de las limaduras de hierro fundido.....	75
34.	Ensayo de compresión C-0, 7días.....	79
35.	Ensayo de compresión C-4, 7días.....	79
36.	Ensayo de compresión C-6, 7días.....	80
37.	Ensayo de compresión C-8, 7días.....	80
38.	Resistencia a la compresión - 7días.....	81
39.	Ensayo de compresión C-0, 14 días.....	83
40.	Ensayo de compresión C-4, 14 días.....	83
41.	Ensayo de compresión C-6, 14 días.....	84
42.	Ensayo de compresión C-8, 14 días.....	84
43.	Resistencia a la compresión – 14 días.....	85
44.	Ensayo de compresión C-0, 28 días.....	87
45.	Ensayo de compresión C-4, 28 días.....	87
46.	Ensayo de compresión C-6, 28 días.....	88
47.	Ensayo de compresión C-8, 28 días.....	88
48.	Resistencia a la compresión – 28 días.....	89
49.	Ensayo de compresión C-10, 28 días.....	91
50.	Ensayo de compresión C-20, 28 días.....	91
51.	Ensayo de compresión C-30, 28 días.....	92
52.	Resistencia a la compresión probetas adicionales – 28 días.....	92
53.	Resistencia a la compresión C-0.....	94
54.	Resistencia a la compresión C-4.....	95
55.	Resistencia a la compresión C-6.....	96
56.	Resistencia a la compresión C-8.....	97
57.	Resistencia a la compresión promedio de las probetas.....	98
58.	Comparación de resultados con Tesis citada, 4% de adición de limaduras de hierro fundido.....	99
59.	Comparación de resultados con Tesis citada, 6% de adición de limaduras de hierro fundido.....	100
60.	Características físicas de los agregados.....	117
61.	Cantidades de materiales por 1 m3, con adición de limaduras de hierro fundido (f'c = 210 kg/cm2).....	121
62.	Cantidades de materiales por tanda de 0.02 m3, con adición de limaduras de hierro fundido (f'c = 210 kg/cm2).....	122
63.	Cantidades de materiales por 1 m3, con adición de limaduras de hierro fundido (f'c = 210 kg/cm2).....	122
64.	Cantidades de materiales por tanda de 0.02 m3, con adición de limaduras de hierro fundido (f'c = 210 kg/cm2).....	122

Índice de figuras

1. Ensayo de asentamiento.....	32
2. Ubicación de la cantera Mendoza.....	51
3. Curva granulométrica del agregado fino.....	67
4. Curva granulométrica del agregado grueso.....	68
5. Curva granulométrica de las limaduras de hierro.....	74
6. Resistencia a la compresión – 7 días.....	81
7. Resistencia a la compresión – 14 días.....	85
8. Resistencia a la compresión – 28 días.....	89
9. Resistencia a la compresión probetas adicionales – 28 días.....	92
10. Evolución de la resistencia a la compresión C-0.....	94
11. Evolución de la resistencia a la compresión C-4.....	95
12. Evolución de la resistencia a la compresión C-6.....	96
13. Evolución de la resistencia a la compresión C-8.....	97
14. Resumen – Resistencia a la compresión.....	98
15. Prueba de Normalidad.....	101
16. Prueba de Varianzas Iguales.....	102
17. % Limaduras de hierro fundido vs Resistencia.....	103
18. Gráficas de residuos para resistencia.....	104

RESUMEN

En Cajamarca como en el resto del Perú, no se tiene cuidado especial para desechar residuos o subproductos generados en la industria manufacturera, en este caso específico nos referimos a las limaduras de hierro fundido producidas en los tornos y rectificadoras que trabajan con piezas automotrices. Este material está compuesto de finas partículas genera contaminación si no se desecha de manera adecuada; el presente proyecto de investigación busca darle un nuevo uso al emplearlo como agregado no convencional en la elaboración del concreto, además se busca incentivar el reciclaje y reutilización de este material. La investigación consistió en emplear limaduras de hierro fundido en tres dosificaciones: 4%, 6% y 8% en peso del agregado fino para incrementar la resistencia a la compresión del concreto. Se elaboraron 18 probetas por cada tratamiento y 18 probetas control (sin adición de limaduras) con una resistencia de diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, las cuales se ensayaron a compresión en las edades de 7, 14 y 28 días para determinar cuál es el incremento de la resistencia respecto a la resistencia de diseño, en función al porcentaje de adición de limaduras. Los resultados de los ensayos a compresión permitieron determinar que para el 4% de adición de limaduras, la resistencia a la compresión se incrementa en un 57% (331.69 kg/cm^2) respecto a la resistencia de diseño. La resistencia disminuyó para porcentajes mayores de adición de limaduras, siendo siempre superior a la resistencia de diseño; por lo tanto la conclusión más importante es que el uso de limaduras de hierro fundido en pequeñas proporciones incrementa la resistencia a la compresión del concreto.

Palabras claves: Concreto, desecho, limaduras de hierro fundido, resistencia a la compresión, diseño de mezcla.

ABSTRACT

In Cajamarca and in the rest of Peru, does not have special care to refuse waste or by-products generated in the manufacture industry, in that case specifically, referred us to metal filings melted produced in the lathes and grinding machines that work with automotive parts. This material is composed of fine particles generates pollution if you do not refuse of suitable way; the present project of investigation looks for to give them a new use, when employing it like added no conventional in the build-up of concrete, besides looks to stimulate, recycling and reuse of this material. The investigation consisted in employing metal filings melted in three dosages: 4%, 6% and 8% in weight of the added fine for increase resistance to compression of concrete. And elaborated 18 test tubes by each treatment and 18 test tubes control (without metal filings) with a resistance of design $f'_c=210$ Kg/cm², which tests to compression in the ages of 7, 14 and 28 days to determine which is the increase of resistance with regard to resistance design, in function to the percentage of addition of metal filings. The results of the tests to compression allowed determining that for 4% of addition of metal filings, the resistance to the compression increase in a 57% (331.69 kg/cm²) with regard to the resistance of design. The resistance diminished for main percentages of additioning metal filings, being always upper to the resistance designing; therefore the most important conclusion is this use of metal filings melted in small proportions increases the resistance to the compression of concrete.

Key Words: Concrete, waste, metal filings melted, compression strength, design of mix.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

El concreto es el material más utilizado en el mundo, debido a tres aspectos principales, su gran versatilidad (puede ser moldeado), su función (para uso estructural y no estructural) y su economía. Por estos aspectos compite con las construcciones de piedra, madera y acero.

El concreto ofrece, como las piedras naturales, una resistencia muy grande a los esfuerzos de compresión y escasa a los de tracción (por lo general su resistencia a la tracción es del orden del 10% de su resistencia a la compresión), por lo tanto, es inadecuado para formar piezas que resisten tracciones o flexiones (Sánchez, D., 2001).

Investigaciones realizadas en Colombia, dan cuenta del empleo de limalla (conjunto de limaduras) que son residuos industriales finos producidos del trabajo de maquinado con metales. Uno de los trabajos de investigación realizó pruebas con tres porcentajes de adición de limaduras 3%, 4% y 5%, obteniendo el resultado más favorable al emplear el 4% respecto al peso de la mezcla (Reyes, J. y Rodríguez, Y., 2010). Otro trabajo de investigación en el que además se empleó material de desmonte como agregado, utilizó un porcentaje de adición de limaduras del 6% respecto del agregado fino (Parra, K. y Bautista, M., 2010).

Basado en las experiencias previas, en este caso específico se trata de conocer el comportamiento respecto a la resistencia a la compresión del concreto cuando se adiciona limaduras de hierro fundido en las proporciones de 4%, 6% y 8%. Por un lado se busca incrementar la resistencia del concreto y por otro lado, se busca usar las limaduras de hierro fundido como material reciclado en la elaboración del concreto.

Se establece la pregunta de investigación: ¿cuál es la resistencia a la compresión del concreto con adición de 4%, 6% y 8% de limaduras de hierro fundido?

Las variables son: Porcentaje de adición de limaduras de hierro fundido (Variable 1) y Resistencia a la compresión del concreto (Variable 2).

La hipótesis de la investigación es: "La resistencia a la compresión del concreto se incrementa entre el 30% al 50% conforme aumenta el porcentaje de adición de limaduras de hierro fundido".

La justificación de la presente investigación se sustenta en el reciclaje y reutilización de limaduras de hierro fundido únicamente, las cuales al igual que muchos subproductos se desechan sin tener en consideración ninguna medida de seguridad, lo cual genera contaminación del suelo y aire (las partículas son pequeñas y livianas), es por ello que mediante la presente investigación se busca reciclar y reutilizar este material y darle una nueva aplicación como material no convencional en la mezcla de concreto. Así mismo se decidió aplicar a la realidad del Perú, específicamente en la ciudad de Cajamarca, la metodología desarrollada por Reyes, J. y Rodríguez, Y. (2010) y por Parra, K. y Bautista, M. (2010), puesto que las propiedades de los materiales a emplear pueden variar respecto a los de las investigaciones citadas y por ende pueden variar los resultados.

De la revisión bibliográfica que se realizó no se encontraron antecedentes locales o nacionales al respecto. En tal sentido los resultados de la investigación servirán para otras investigaciones o para el mejoramiento del concreto usando este producto, el cual será obtenido de las empresas de torno y rectificadoras que trabajan con piezas automotrices. Asimismo, los resultados de la investigación serán útiles para otros investigadores, estudiantes, tomadores de decisiones en la industria y en la construcción.

La investigación consistirá de un ensayo, en el cual se adicionará al concreto tradicional, limaduras de hierro fundido en las proporciones de 4%, 6% y 8% en peso del agregado fino, en cada caso se medirá la resistencia a la compresión, siguiendo la metodología establecida.

Se diseñará el concreto con un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ haciendo uso del Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados. Se empleará un solo tipo de cemento, Portland tipo I, y la adición de limaduras se limitará a los rangos antes establecidos. Además no se evaluarán otras propiedades del concreto como: resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, resistencia a cortante, abrasión o durabilidad; solamente la resistencia a la compresión.

Por lo expuesto anteriormente, el objetivo de la investigación es determinar la variación de la resistencia a la compresión del concreto al añadir tres porcentajes (4%, 6% y 8%) de limaduras de hierro fundido en peso del agregado fino.

La investigación estuvo diseñada en cinco capítulos: En el **primer capítulo** se trata el problema de investigación, se plantean las razones que justifican el estudio, así como la hipótesis y el objetivo que se pretenden lograr con la investigación. El **segundo capítulo** corresponde al marco teórico, que contempla los fundamentos en los que se soporta el estudio; para esto se tuvo en cuenta los antecedentes, bases teóricas y la definición de términos básicos. El **tercer capítulo** describe los materiales y métodos empleados en la investigación para lograr el objetivo planteado, en este capítulo se detallan paso a paso los procesos realizados en el experimento, así como el tratamiento que se le dio a los resultados obtenidos. En el **cuarto capítulo** se presenta el análisis y discusión de los resultados obtenidos, que permite realizar la valoración del estudio. En el **quinto capítulo** se describen las conclusiones y recomendaciones más importantes. Finalmente los apéndices.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes teóricos de la investigación

La industria de la construcción se encuentra en constante desarrollo, buscando nuevos materiales que permitan obtener productos de mayor calidad a menores costos; así mismo, el cuidado del medio ambiente va cobrando cada vez más importancia en el desarrollo de las actividades humanas, es por ello que, se viene realizando numerosas investigaciones que buscan utilizar materiales reciclados como agregados no convencionales en la elaboración del concreto, a fin de disminuir la contaminación que supone la eliminación inapropiada de estos materiales de desecho.

A continuación se presenta un resumen de investigaciones realizadas a nivel mundial, en las cuales se emplearon materiales residuales obtenidos como subproducto del trabajo con metales.

2.1.1 Antecedentes a nivel internacional

- En una investigación realizada en Jordania, se utilizó escoria de acero para mejorar las propiedades del concreto con agregados reciclados. La conclusión más importante es que se debe usar 67% de escoria de acero como reemplazo del RCA (Recycled Concrete Aggregate) para mejorar la resistencia del concreto (Qasrawi, H., 2013).
- Alwaeli, M. y Nadziakiewicz, J. (2011), emplearon materiales reciclados de acero y hierro (virutas y escamas de laminado) como reemplazo parcial de la arena en la producción de concreto. Usaron diferentes proporciones de adición (25%, 50%, 75%, y 100%) en peso de la arena. Concluyeron que el concreto que contiene virutas de acero presenta un aumento en la resistencia a la compresión en relación al concreto convencional, mientras que en el caso del concreto mezclado con escamas de laminado en exceso de 25%, la resistencia llega a

deteriorarse. Además, mediante ensayos adicionales, determinaron que el concreto con adición de estos elementos mejora la absorción de la radiación gamma sin perjudicar otras características técnicas del concreto, por lo que se podría utilizar en la construcción de pantallas para proteger al personal que trabaja en laboratorios donde se utiliza radiación.

- Liu, C. y colaboradores (2011), realizaron un estudio preliminar en China, para utilizar como agregados del concreto las escorias de acero de alto horno y partículas de tiras de llantas desechadas. Concluyeron que al utilizar éstos materiales de desecho, además de los agregados tradicionales, permiten un incremento considerable de la resistencia a la compresión pero una ligera disminución de su resistencia a la flexión.

2.1.2 Antecedentes a nivel de Sudamérica

- Reyes, J. y Rodríguez, Y. (2010); en Colombia, probaron tres porcentajes de adición de Limalla (3%, 4% y 5%) respecto al peso del agregado fino, la investigación determinó que el porcentaje óptimo de adición de limalla era del 4%, para el cual se obtenía un incremento de la resistencia a la compresión en el orden del 45% respecto a su resistencia de diseño ($f'c=210 \text{ kg/cm}^2$).
- Asimismo Parra, K. y Bautista, M. (2010), emplearon además de limalla, materiales de escombros como agregados, quienes llegaron a la conclusión de que el porcentaje óptimo de adición de limalla es del 6% y el de material de escombros es del 10%, con lo cual obtuvieron un incremento de la resistencia a la compresión del 46% respecto a su resistencia de diseño ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$).

2.1.3 Antecedentes a nivel nacional

- Corcino, V. (2007), en Lima realizó una investigación en la que se empleó fibra de acero como adición del concreto, sin embargo este material posee propiedades diferentes a las limaduras de hierro fundido que se emplearán en esta investigación. El trabajo concluye que la resistencia a la compresión aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de fibra, sin embargo el aumento es muy pequeño; el principal aporte de este material es que evita que el concreto tenga una falla frágil y explosiva, dándole ductilidad al compuesto.

2.1.4 Antecedentes a nivel local

No se encontraron estudios relativos al tema de la presente tesis.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Agregado

La Norma Técnica Peruana NTP 400.011 (2013) define al agregado como un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por esta Norma.

Así mismo Neville, A. y Brooks, J. (1998) señalan que la calidad del agregado es muy importante, puesto que corresponde aproximadamente a las $\frac{3}{4}$ partes del volumen del concreto. El agregado puede limitar la resistencia del concreto, además sus propiedades pueden afectar enormemente su durabilidad y desempeño.

2.2.1.1 Agregado fino

La Norma técnica Peruana NTP 400.037 (2013) define al agregado fino como “el proveniente de la desagregación natural o artificial”, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg) y que queda retenido en el tamiz 0.074 mm (N°200).

Rivva, E. (2013) señala que el agregado fino debe cumplir con los siguientes requisitos:

- El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente.
- El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales, u otras sustancias dañinas.
- La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N°50, y N°100 de la serie Tyler.
- El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.
- El módulo de fineza del agregado fino se mantendrá dentro del límite de ± 0.2 del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto; siendo recomendable que el valor asumido esté entre 2.30 y 3.10.
- El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado fino no deberá exceder de los siguientes límites:
 - Lentas de arcilla y partículas desmenuzables.....3%
 - Material más fino que la malla N° 200:
 - a) Concretos sujetos a abrasión.....3%
 - b) Otros concretos.....5%
 - Carbón:
 - a) Cuando la apariencia superficial es importante.....0.5%
 - b) Otros concretos.....1%
- Es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites:

Tabla 1. Granulometría del agregado fino (NTP 400.037, 2013)

TAMIZ	PORCENTAJE DE PESO (MASA) QUE PASA			
	LÍMITES TOTALES	*C	M	F
9.50 mm (3/8")	100	100	100	100
4.75 mm (N° 4)	89 – 100	95 – 100	89 – 100	89 – 100
2.36 mm (N° 8)	65 – 100	80 – 100	65 – 100	80 – 100
1.18 mm (N° 16)	45 – 100	50 – 85	45 – 100	70 – 100
0.60 mm (N° 30)	25 – 100	25 – 60	25 – 80	55 – 100
0.30 mm (N° 50)	5 – 70	10 – 30	5 – 48	5 – 70
0.15 mm (N° 100)	0 – 12	2 – 10	0 – 12*	0 – 12

*Incrementar a 15% para agregado fino triturado, excepto cuando se use para pavimentos.

2.2.1.2 Agregado grueso

La Norma Técnica Peruana NTP 400.011 (2013) define al agregado grueso como el material retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4) y que además cumple los límites establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 400.037.

Además Rivva, E. (2013) señala que el agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites especificados en la norma NTP 400.037 en la norma ASTM C 33, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2. Requisitos granulométricos del agregado grueso (NTP 400.037, 2013)

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
			100	90	75	63	50	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	300
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
			4"	3 ½"	3"	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 50
1	90 mm a 37.5 mm	3 ½" a 1 ½"	100	90 a 100	—	25 a 60	—	0 a 15	—	0 a 15	—	—	—	—	—	—
2	63 mm a 37.5 mm	2 ½" a 1 ½"	—	—	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—	—
3	50 mm a 25.0 mm	2" a 1"	—	—	—	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	—	0 a 15	—	—	—	—	—
357	50 mm a 4.75 mm	2" a N° 4	—	—	—	100	95 a 100	—	35 a 70	—	10 a 30	—	0 a 5	—	—	—
4	37.5 mm a 19.0 mm	1 ½" a ¾"	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	—	0 a 5	—	—	—	—
467	37.5 mm a 4.75 mm	1 ½" a N° 4	—	—	—	—	100	95 a 100	—	35 a 70	—	10 a 30	0 a 5	—	—	—
5	25 mm a 12.5 mm	1" a ½"	—	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	—	—	—	—
56	25 mm a 9.5 mm	1" a 3/8"	—	—	—	—	—	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	—	—	—
57	25 mm a 4.75 mm	1" a N° 4	—	—	—	—	—	100	95 a 100	—	25 a 60	—	0 a 10	0 a 5	—	—
6	19 mm a 9.5 mm	¾" a 3/8"	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	—	—	—
67	19 mm a 4.75 mm	¾" a N° 4	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	—	20 a 55	0 a 10	0 a 5	—	—
7	12.5 mm a 4.75 mm	½" a N° 4	—	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	—	—
8	9.5 mm a 2.36 mm	3/8" a N° 8	—	—	—	—	—	—	—	—	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	—
89	9.5 mm a 1.18 mm	3/8" a N° 16	—	—	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	25 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm	N° 4 a N° 16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Respecto al agregado grueso, Rivva, E. (2013) señala que éste deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semiangular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa. Además indica que es recomendable tener en consideración lo siguiente:

- a) La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- b) La granulometría seleccionada deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de colocación de la mezcla.
- c) La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 ½" y no más del 60% del agregado que pasa la malla de ¼".

Así mismo el porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado grueso no deberá exceder de los siguientes límites:

- Arcilla.....0.25%
- Partículas deleznales.....5.00%
- Material más fino que la malla N° 200.....1.00%
- Carbón y lignito:
 - a) Cuando la apariencia superficial es importante.....0.50%
 - b) Otros concretos.....1.00%

2.2.1.3 Tamaño máximo del agregado grueso

Respecto al tamaño máximo del agregado grueso, la Norma Técnica Peruana NTP 400.011 (2013) señala lo siguiente:

- a) Tamaño máximo: Es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.
- b) Tamaño máximo nominal: Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.

2.2.2 Características físicas de los agregados

2.2.2.1 Análisis granulométrico (NTP 400.012, ASTM C 136)

Pasquel, E. (1998) explica el método para determinar la granulometría de los agregados, el cual consiste en tamizar las partículas por una serie de mallas de aberturas conocidas y pesar los materiales retenidos refiriéndolos en % con respecto al peso total. Este proceso es denominado análisis granulométrico, que es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños.

2.2.2.2 Módulo de finura (NTP 334.045, ASTM C 136)

Se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie Standard hasta el Tamiz No 100 y esta cantidad se divide entre 100. El sustento matemático del Módulo de Fineza reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica (Pasquel, E., 1998).

Para el agregado fino:

$$M.F = \frac{\sum \% \text{Ret. acum. tamices (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100} \quad (1)$$

Para el agregado grueso:

$$M.G = \frac{\sum \% \text{Ret. acum. tamices (3/4", 3/8", N}^\circ 4, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100} \quad (2)$$

2.2.2.3 Peso específico y absorción (NTP 400.021, ASTM C 127)

Pasquel, E. (1998) se centra en los conceptos de saturación para una partícula ideal de agregado, partiendo de la condición seca hasta cuando tiene humedad superficial. A continuación se define el peso específico de los agregados de acuerdo a sus condiciones de saturación.

a) Peso específico

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. Las Normas ASTM C-127 y C-128 establecen el procedimiento estandarizado para su determinación en laboratorio.

b) Peso específico nominal o aparente

Es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario del material, a la masa en el aire (de igual densidad) de un volumen igual de agua destilada libre de gas, a una temperatura especificada. Cuando el material es un sólido, se considera el volumen de la porción impermeable.

Para el agregado fino:

$$P.e.a. = \frac{W_o}{(V-V_a) - (500-W_o)} \quad (3)$$

Donde:

P.e.a. : Peso específico aparente

W_o : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C

V : Volumen del frasco

V_a : Volumen de agua añadida

Para el agregado grueso:

$$P.e.a. = \frac{A}{A-C} \quad (4)$$

Donde:

P.e.a. : Peso específico aparente

A : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C

C : Peso en el agua de la muestra saturada

c) Peso específico de masa

Viene a ser la relación entre la masa en el aire de un volumen unitario del material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables, naturales del material), a la masa en el aire (de igual densidad) de un volumen igual de agua destilada, libre de gas y a una temperatura especificada.

Para el agregado fino:

$$P_e = \frac{W_o}{V-V_a} \quad (5)$$

Donde:

Pe : Peso específico de masa

Wo : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C

V : Volumen del frasco

Va : Volumen de agua añadida

Para el agregado grueso:

$$Pe = \frac{A}{B-C} \quad (6)$$

Donde:

Pe : Peso específico de masa

A : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C

B : Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca

C : Peso en el agua de la muestra saturada

d) Peso específico de masa saturada superficialmente seca

Tiene la misma definición que el peso específico de masa, con la salvedad de que la masa incluye el agua en los poros permeables.

Para el agregado fino:

$$P.e.s.s.s. = \frac{500}{V - Va} \quad (7)$$

Donde:

P.e.s.s.s.: Peso específico de masa saturada superficialmente seca

V : Volumen del frasco

Va : Volumen de agua añadida

Para el agregado grueso:

$$P.e.s.s.s. = \frac{B}{B - C} \quad (8)$$

Donde:

P.e.s.s.s. : Peso específico de masa saturada superficialmente seca

B : Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente
seca

C : Peso en el agua de la muestra saturada

e) Absorción

Pasquel, E. (1998) define la absorción como la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, sin embargo no se llenan totalmente los poros indicados pues siempre queda aire atrapado.

Para el agregado fino:

$$Ab. = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100 \quad (9)$$

Donde:

Ab. : Porcentaje de absorción

W_o : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C

Para el agregado grueso:

$$Ab. = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (10)$$

Donde:

Ab. : Porcentaje de absorción

A : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C

B : Peso de la muestra saturada superficialmente seca

2.2.2.4 Contenido de humedad (NTP 400.010, ASTM C 70)

Pasquel, E. (1998) señala que es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas.

Los agregados generalmente se encuentran húmedos y varían con el tiempo. A continuación se describen los distintos estados del agregado.

- a) **Agregado seco.** No existe humedad alguna en el agregado. Se lo consigue mediante un secado prolongado en una estufa a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- b) **Agregado seco al aire.** Cuando existe algo de humedad en el interior del árido. Es característica, en los agregados que se han dejado secar al medio ambiente. Al igual que en el estado anterior, el contenido de humedad es menor que el porcentaje de absorción.
- c) **Agregado saturado y superficialmente seco.** Estado en el cual, todos los poros del agregado se encuentran llenos de agua. Condición ideal de un agregado, en la cual no absorbe ni cede agua.
- d) **Agregado húmedo.** En este estado existe una película de agua que rodea el agregado, llamada agua libre, que viene a ser la cantidad de agua en exceso. Respecto al estado saturado superficialmente seco. El contenido de humedad es mayor que el porcentaje de absorción.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$W\% = \frac{A-B}{B} \times 100 \quad (11)$$

Donde:

W% : Porcentaje de humedad

A : Peso de la muestra húmeda

B : Peso de la muestra seca

2.2.2.5 **Peso unitario (NTP 400.017, ASTM C 29)**

Pasquel, E. (1998) define el peso unitario como el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas, está influenciado por la manera en que se acomodan estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo.

La Norma Técnica Peruana NTP 400.017 (2011) establece los procedimientos para determinar el peso unitario:

a) **Peso unitario seco suelto.** Llenar el recipiente con una pala o cucharón, descargando el agregado de una altura que no exceda 50 mm encima del borde superior del mismo. Determinar la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío con exactitud de 0.05 kg.

b) **Peso unitario seco compactado.** Existen dos procedimientos para determinar el peso unitario compactado. El método de apisonado, para agregado cuyo tamaño máximo no sea mayor de 5 cm y el método de percusión, para agregado cuyo tamaño máximo está comprendido entre 5 cm y 10 cm.

b.1) Método de apisonado. El agregado se coloca en un recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente hasta colmarlo. Cada una de las capas se empareja con la mano y se apisona dicha muestra con la barra compactadora mediante 25 golpes, distribuidos uniformemente en cada capa. Una vez colmado el recipiente se enrasa la superficie usando la varilla como regla y se determina el peso neto del agregado en Kg; para finalmente obtener el peso unitario seco compactado del agregado, al multiplicar dicho peso por el factor (F).

$$F = \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{W_a (16.7^\circ\text{C})} \quad (12)$$

Donde:

F : Factor "F" para calibración del recipiente

W_a : Peso del agua para llenar el recipiente a 16.7°C.

b.2) Método de vibrado. El agregado se coloca en un recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente hasta colmarlo. Al terminar de colocar cada capa, se coloca el recipiente sobre una base firme y se inclina hasta que el borde opuesto al punto de apoyo diste unos 5 cm de la base. Luego se suelta, con lo que se produce un golpe seco y se repite la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto.

Estos golpes alternados se ejecutan 25 veces de cada lado, de modo que el número total es de 50 para cada capa y 150 para todo el conjunto. Al término, se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación al plano de enrase; para finalmente obtener el peso unitario seco compactado.

2.2.2.6 Porcentaje que pasa tamiz N° 200 (NTP 400.018, ASTM C 117)

De acuerdo a lo señalado por Pasquel, E. (1998), esta propiedad tiene trascendencia en la adherencia entre el agregado y la pasta, afectando la resistencia. Por otro lado, las mezclas requieren una mayor cantidad de agua, por lo que se acostumbra limitarlos entre el 3% al 5%, aunque valores superiores hasta del orden del 7% no necesariamente causarán un efecto pernicioso notable que no pueda contrarrestarse mejorando el diseño de mezclas, bajando la relación agua/cemento y/o optimizando granulometría.

Se determina usando la siguiente expresión:

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad (13)$$

Donde:

A : Porcentaje de material más fino que pasa el tamiz N° 200

P₁: Peso seco de la muestra original

P₂: Peso seco de la muestra después del lavado

2.2.2.7 Resistencia a al abrasión (NTP 400.019, ASTM C 131)

Oposición que presentan los agregados sometidos a fuerzas de impacto y al desgaste por abrasión y frotamiento, ya sea de carácter mecánico o hidráulico. Se mide en función inversa al incremento de material fino, y cuando la pérdida de peso se expresa en porcentaje de la muestra original se le denomina porcentaje de desgaste.

Existen diferentes métodos para medir los efectos de la abrasión, pero actualmente el más usado es el de la Prueba de Los Ángeles, por la

rapidez con que se efectúa y porque se puede aplicar a cualquier tipo de agregado.

Se determina usando la siguiente expresión:

$$De = \frac{W_o - W_f}{W_o} \times 100 \quad (14)$$

Donde:

De : Porcentaje de desgaste

W_o : Peso original de la muestra

W_f : Peso final de la muestra

Para el cálculo de la resistencia a la abrasión, se escogerá una de las 4 gradaciones (A, B, C, D); establecidas en la Norma Técnica Peruana NTP 400.019; y dependiendo del tipo de gradación se procederá al ensayo con un número determinado de esferas. Las esferas para el ensayo deberán ser de fierro fundido, con un diámetro de 48 mm y entre 390 y 445 g de masa.

Tabla 3. Carga abrasiva (NTP 400.019, 2002)

GRADACIÓN	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	08	3330 ± 25
D	06	2500 ± 15

Tabla 4. Gradaciones de muestras de ensayo (NTP 400.019, 2002)

TAMAÑO DE TAMICES (ABERTURAS GRADADAS)		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (g)			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
37.50 mm (1 ½")	25.40 mm (1")	1250±25	-----	-----	-----
25.40 mm (1")	19.00 mm (¾")	1250±25	-----	-----	-----
19.00 mm (¾")	12.70 mm (½")	1250±10	2500±10	-----	-----
12.70 mm (½")	9.51 mm (3/8")	1250±10	2500±10	-----	-----
9.51 mm (3/8")	6.35 mm (1/4")	-----	-----	2500±10	-----
6.35 mm (1/4")	4.76 mm (N° 4)	-----	-----	2500±10	-----
4.76 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	-----	-----	-----	5000±10

2.2.3 Cemento

El II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004) define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad, por adición de una cantidad conveniente de agua, de formar una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. Quedan excluidas de esta definición las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos.

2.2.3.1 Cemento portland (ASTM C 150)

Neville, A. y Brooks, J. (1998) sostienen que el nombre de cemento portland corresponde a un cemento obtenido por la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, alúmina y óxido de hierro, que son calentados a temperaturas que provocan que se formen escorias, para posteriormente moler el producto resultante. Según los autores, las definiciones de las Normas Británicas y Estadounidenses coinciden en que ningún otro material aparte de yeso, agua y agentes pulverizantes pueden añadirse después del quemado.

Tabla 5. Componentes químicos del cemento (Pasquel, E., 1998)

	Componente químico	Procedencia usual
95%	Óxido de Calcio (CaO)	Rocas calizas
	Óxido de Sílice (SiO ₂)	Areniscas
	Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, mineral de hierro, pirita
5%	Óxidos de Magnesio, Sodio	Minerales varios
	Potasio, Titanio, Azufre	
	Fósforo y Manganeso	

Los porcentajes típicos en que intervienen en el cemento Portland los óxidos mencionados son:

Tabla 6. Porcentajes de Óxidos en el cemento (Pasquel, E., 1998)

Oxido Componente	Porcentaje Típico	Abreviatura
CaO	61% - 67%	C
SiO ₂	20% - 27%	S
Al ₂ O ₃	4% - 7%	A
Fe ₂ O ₃	2% - 4%	F
SO ₃	1% - 3%	
MgO	1% - 5%	
K ₂ O y Na ₂ O	0.25% - 1.5%	

2.2.3.2 Propiedades físicas del cemento portland

a) Superficie específica o fineza del cemento (NTP 334.002, ASTM C 150)

En el II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004) se indica que la fineza de un cemento es función del grado de molienda del mismo y se expresa por su superficie específica, la cual es definida como el área superficial total, expresada en centímetros cuadrados, de todas las partículas contenidas en un gramo de cemento. Se asume que todas las partículas tienen un perfil esférico. La superficie específica del cemento está comprendida entre los valores de 2500 a 4500 cm²/g.

b) **Peso específico (NTP 334.005, ASTM C 150)**

El II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004) establece que el peso específico del cemento corresponde al material al estado compacto. Su valor suele variar, para los cementos portland normales, entre 3.0 y 3.2 gr/cm³. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$p = \frac{m}{V_{\text{Absoluto}}} \quad (15)$$

Donde:

- p : Peso específico
m : Peso de la muestra de cemento
V_{Absoluto} : Volumen de la materia sólida

c) **Mecanismos de hidratación del cemento**

Pasquel, E. (1998) define como hidratación al conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, que llevan consigo el cambio del estado plástico al endurecido, con las propiedades inherentes a los nuevos productos formados. A continuación se definen los siguientes estados para distinguir las etapas del proceso de hidratación del cemento:

- **Plástico.** Es la unión del agua y el polvo de cemento formando una pasta moldeable. Cuanto menor es la relación Agua/Cemento, mayor es la concentración de partículas de cemento en la pasta compactada y por ende la estructura de los productos de hidratación es mucho más resistente.
- **Fraguado inicial.** Es la condición de la pasta de cemento en que se aceleran las reacciones químicas, empieza el endurecimiento y la pérdida de la plasticidad. Es la etapa en que se evidencia el proceso exotérmico donde se genera el calor de hidratación.
- **Fraguado Final.** Se inicia al término de la etapa de fraguado inicial, caracterizándose por endurecimiento significativo y deformaciones permanentes. La estructura del gel está constituida por el ensamble definitivo de sus partículas endurecidas.
- **Endurecimiento.** Se produce a partir del fraguado final y es el estado en que se mantienen e incrementan con el tiempo las características

resistentes. La reacción predominante es la hidratación permanente de los silicatos de calcio, y en teoría continúa de manera indefinida.

d) Falso fraguado (NTP 334.052, ASTM C 150)

Pasquel, E. (1998) sostiene que el falso fraguado se produce en algunos cementos debido al calentamiento durante la molienda del clinker con el yeso, produciéndose la deshidratación parcial del producto resultante, por lo que al mezclarse el cemento con el agua, ocurre una cristalización y endurecimiento aparente durante los 2 primeros minutos de mezclado, pero remezclando el material, se recobra la plasticidad, no generándose calor de hidratación ni ocasionando consecuencias negativas.

e) Calor de hidratación (NTP 334.004, ASTM C 150)

El II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004) define al calor de hidratación como a la cantidad de calor, expresada en calorías por gramo de cemento no hidratado, desarrollada por hidratación completa a una temperatura determinada.

Tabla 7. Calor de hidratación para cada tipo de cemento portland (NTP 334.064, 2009)

TIPO	CARACTERÍSTICA	% DE CALOR GENERADO
I	Uso general	100
II	Moderada resistencia a los sulfatos	80 a 85
III	Desarrollo de altas resistencias iniciales	150
IV	Desarrollo de bajo calor de hidratación	40 a 60
V	Alta resistencia a los sulfatos	60 a 95

f) Resistencia mecánica (NTP 334.051, ASTM C 150)

El II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004) sostiene que es la propiedad física del cemento que define la capacidad del mismo para soportar esfuerzos sin falla y normalmente se emplea como uno de los criterios de aceptación por ser la más requerida desde el punto de vista estructural.

g) Tipos de cemento portland (NTP 334.009)

El II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004) indica que la totalidad de los cementos empleados en el Perú son cementos portland tal como los especifica la Norma ASTM C 150; o cementos combinados, de acuerdo a lo indicado en la Norma ASTM C 595. De acuerdo a lo recomendado por la Norma ASTM C 150, los cinco tipos de cementos portland normal que pueden ser clasificados como estándar son:

- **Tipo I.** De uso general, donde no se requiere propiedades especiales.
- **Tipo II.** De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Especialmente adecuados para ser empleados en estructuras en ambientes agresivos y/o vaciados masivos.
- **Tipo III.** De desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación. Especiales para uso en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicios de las estructuras, o para uso en climas fríos.
- **Tipo IV.** De bajo calor de hidratación, recomendables para concretos masivos.
- **Tipo V.** Recomendables para ambientes muy agresivos por su alta resistencia a los sulfatos.

De acuerdo con II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004), los “cementos adicionados” son mezclas de cemento y un material de características puzolánicas molidos en forma conjunta. En el Perú se fabrican los Tipos IP, IPM, IS, e ISM:

- **El cemento Tipo IP.** Es un cemento al cual se ha añadido puzolana en un porcentaje que oscila entre el 15% y el 40% del peso total.
- **El cemento Tipo IPM.** Es un cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje menor del 15% del peso total.
- **El cemento Tipo IS.** Es un cemento al cual se le ha añadido entre 25% y 75% de escoria de altos hornos referido al peso total.
- **El cemento Tipo ISM.** Es un cemento al cual se ha añadido menos del 25% de escoria de altos hornos referida al peso total.

h) Cemento usado en la investigación

Para el desarrollo de la investigación se empleó Cemento Portland Tipo I Pacasmayo.

El cemento portland Tipo I es un cemento de uso general que cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150. El cemento portland Tipo I se fabrica mediante la molienda conjunta de clinker Tipo I y yeso que le brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado.

2.2.4 El agua en el concreto

Para Pasquel, E. (1998) el agua es el elemento imprescindible para lograr la hidratación del cemento así como el desarrollo de sus propiedades, por ello este debe cumplir ciertos requisitos para llevar a cabo su función, sin ocasionar inconvenientes colaterales en caso de contener ciertas sustancias que pueden dañar al concreto.

2.2.4.1 El agua de mezcla

Según Pasquel, E. (1998) el agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales, las cuales son:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo,
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto,
- Establecer la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

Por lo tanto, la cantidad de agua que interviene en la mezcla de concreto es normalmente por razones de trabajabilidad, mayor de la necesaria para la hidratación del cemento.

La Norma Técnica Peruana NTP 339.088 establece requisitos para el agua de mezcla y curado, que se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Límites permisibles para agua de mezcla y de curado (NTP 339.088, 2006)

Descripción	Límite permisible
1) Sólidos en suspensión	5,000 p.p.m. máximo
2) Materia orgánica	3 p.p.m. máximo
3) Alcalinidad (NaHCO_3)	1,000
4) Sulfato (Ión SO_4)	600 p.p.m. máximo
5) Cloruros (Ión Cl^-)	1,000 p.p.m. máximo
6) pH	5 a 8

Pasquel, E. (1998) explica que existe evidencia experimental en la que se concluye que el empleo de aguas con contenidos individuales de cloruros, sulfatos y carbonatos sobre las 5,000 ppm ocasiona reducción de resistencias hasta del orden del 30 % con relación a concretos con agua pura.

2.2.4.2 El agua para curado

Pasquel, E. (1998) señala que el agua para curado debe cumplir los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla. Sin embargo si revisamos lo mencionado con respecto al mecanismo de hidratación del cemento, podemos concluir que el agua adicional que puede contribuir a hidratar el concreto proveniente del curado, representa únicamente una fracción del agua total (alrededor de la quinta parte en volumen absoluto), por lo que las limitaciones para el caso del agua de curado pueden ser menos exigentes que en el caso del agua de mezcla, pudiendo aceptarse reducir dichas limitaciones a la mitad en la mayoría de los casos.

2.2.5 Concreto

Pasquel, E. (1998) define al concreto como el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente manifiesta una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia

rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción. Las proporciones de los componentes del concreto son:

- Aire : 1% a 3%
- Cemento : 7% a 15%
- Agua : 15% a 22%
- Agregados : 60% a 75%

2.2.5.1 La pasta de concreto

De acuerdo con el II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004), la parte del concreto endurecido conocida como pasta comprende a cuatro elementos fundamentales:

- El gel, nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación del cemento;
- Los poros incluidos en ella;
- El cemento no hidratado, si lo hay;
- Los cristales de hidróxido de calcio, o cal libre, que puedan haberse formado durante la hidratación del cemento.

a) Funciones de la pasta de concreto

Según el II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004) la pasta tiene cuatro grandes funciones en el concreto:

- Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido.
- Separar las partículas de agregado.
- Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas.
- Proporcionar lubricación a la masa cuando ésta aún no ha endurecido.

b) Propiedades de la pasta de concreto

Según el II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004) las propiedades de la pasta dependen de:

- Las propiedades físicas y químicas del cemento.
- Las proporciones relativas de cemento y agua en la mezcla.
- El grado de hidratación del cemento, dado por la efectividad de la combinación química entre éste y el agua.

2.2.5.2 El gel

El II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004) define como gel a la parte sólida de la pasta, la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación.

El II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004) detalla los aspectos más importantes del gel:

a) Composición

En su estructura el gel es una aglomeración porosa de partículas sólidamente entrelazadas, en su mayoría escamosas o fibrosas, el conjunto de las cuales forma una red eslabonada que contiene material más o menos amorfo. En su composición el gel comprende:

- La masa cohesiva de cemento hidratado en su estado de pasta más densa.
- Hidróxido de calcio cristalino.
- Poros Gel.

b) Comportamiento

El gel desempeña el papel más importante en el comportamiento del concreto, especialmente en su resistencia y comportamiento elástico. Las razones de su resistencia aún no están claramente comprendidas, pero se acepta que intervienen dos clases de adherencias cohesivas: atracción física y adherencia química.

2.2.5.3 Relación agua/cemento

Según Gomezjurado, J. (1997) la relación agua/cemento (A/C) en una mezcla de concreto se describe como la cantidad de agua en masa, sin incluir el agua absorbida por los agregados, sobre la cantidad de cemento en masa.

Matemáticamente se expresa:

$$A/C = \frac{W_a}{W_c} \quad (16)$$

Donde:

A/C : Relación agua - cemento

W_a : Peso del agua (kg) cuando los agregados están saturados con superficie seca

W_c : Peso del cemento (kg)

Gomezjurado, J. (1997) señala que para un concreto perfectamente compactado, empleando materiales con las mismas características y condiciones de ensayo, la resistencia, a una edad dada, es inversamente proporcional a la relación agua/cemento

2.2.5.4 Hidratación y curado del concreto

El II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004) define como hidratación al proceso de reacción química del cemento cuando se mezcla con agua. La hidratación requiere de presencia de humedad, condiciones de curado favorables, y tiempo. Se define como tiempo de curado al período durante el cual el concreto es mantenido en condiciones de humedad y temperatura tales como para lograr la hidratación del cemento en la magnitud que se desea para alcanzar la resistencia requerida.

2.2.5.5 Propiedades del concreto fresco

a) Trabajabilidad

Pasquel, E. (1998) define la trabajabilidad como la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, y depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las

etapas del proceso, por ello un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones, podría no serlo si dichas condiciones cambian.

b) Consistencia

Gomezjurado, J. (1997) la define como la capacidad que tiene el concreto fresco para fluir, es decir la capacidad de adquirir la forma de los encofrados que lo contienen, y de llenar espacios vacíos alrededor de los elementos que absorbe. Para medir la consistencia se lleva a cabo la prueba de revenimiento.

- **Prueba del revenimiento.** Esta prueba es de carácter práctico, y se usa frecuentemente tanto en el laboratorio como en el campo gracias a su simplicidad. Su empleo es aceptado para medir la trabajabilidad del concreto fresco y consiste en consolidar una muestra representativa del mismo en un molde metálico tronco cónico de 12" de altura, con 8" de diámetro en la base y 4" en la parte superior (Gomezjurado, J., 1997).

En nuestro país esta prueba se rige por la Norma Técnica Peruana NTP 339.035 y el ensayo se denomina "Asentamiento" (Slump). Dicha prueba permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto.

Rivera, G. (1992) explica el procedimiento para realizar la prueba de revenimiento. La prueba consiste en llenar con concreto tres capas de aproximadamente un tercio del volumen del molde cada una, apisonando cada capa 25 veces con una varilla lisa de 16 mm de diámetro, longitud 600 mm y redondeada en la punta; una vez compactada la última capa, la superficie superior se alisa a ras; inmediatamente después, se levanta lentamente el tronco de cono sin producir giro o torsión. Al faltarle apoyo, el concreto se asentará. La disminución de la altura en la parte superior se llama asentamiento y se mide con

una aproximación de 5 mm. Si en lugar de asentarse uniformemente el cono, como en un revenimiento normal, la mitad del cono se desliza en un plano inclinado, se dice que ha tenido lugar un asentamiento o revenimiento por corte y la prueba deberá repetirse.

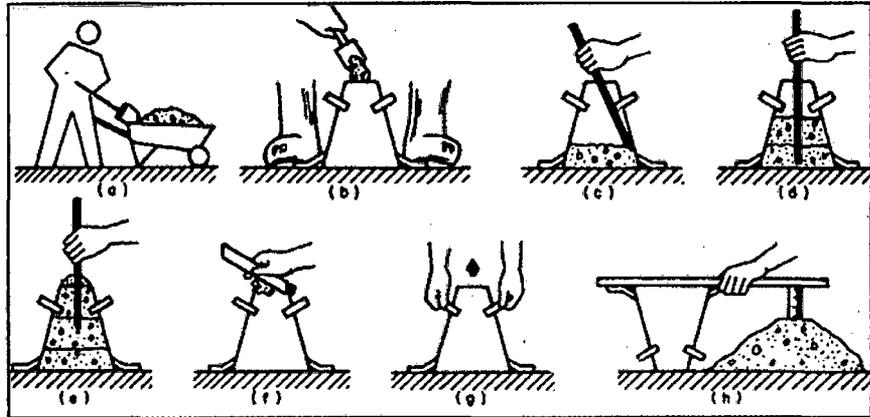


Figura 1. Ensayo de asentamiento

Figura que esquematiza la secuencia de la prueba de asentamiento, transcrita de Gomezjurado, J., 1997

- c) **Segregación.** Pasquel, E. (1998) sostiene que las diferencias de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas descendan, pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es sólo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumado a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz.
- d) **Exudación.** Pasquel, E. (1998) la define como la propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto. Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades.

2.2.5.6 Propiedades del concreto endurecido

Pasquel, E. (1998) describe las propiedades del concreto endurecido:

- a) **Elasticidad.** Es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente. El concreto no es un material totalmente elástico, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un "Módulo de elasticidad estático" del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de la tensión última.
- b) **Resistencia.** Es la capacidad que tiene el concreto para soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento. Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación Agua/Cemento en peso. La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto.
- c) **Extensibilidad.** Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones.

2.2.5.7 Resistencia a la compresión del concreto

El II Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (ICG, 2004) sostiene que la resistencia a la compresión es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el concreto sin romperse. La resistencia a la compresión se utiliza como índice de la calidad del concreto.

Así mismo Neville, A. y Brooks, J. (1998) señalan que la resistencia del concreto es comúnmente considerada como la característica más valiosa aunque en muchos casos con otras, como la durabilidad, impermeabilidad y estabilidad de volumen, las que pueden ser importantes. Sin embargo, la resistencia suele dar un panorama general de la calidad del concreto, por estar directamente relacionada con la estructura de la pasta de cemento.

2.2.5.8 Determinación de la resistencia a la compresión del concreto (NTP 339.034)

Rivera, G. (1992), describe el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión del concreto:

- Se emplean moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de longitud. Para cada edad se deben ensayar como mínimo 2 cilindros y trabajar con el valor promedio.
- Los cilindros se llenan con hormigón en capas de igual volumen aproximadamente, el número de capas depende del método de compactación escogido, así:
 - Varillado: 3 capas
 - Vibrado: 2 capas
- En el método apisonado cada capa debe compactarse con 25 golpes, los cuales deben distribuirse uniformemente en toda la sección transversal del molde. La capa del fondo debe compactarse en toda su profundidad, al compactar las capas superior e intermedia la varilla debe penetrar aproximadamente 25 mm en la capa inmediatamente inferior. Si al retirar la varilla

quedan huecos en el cilindro, éstos deben cerrarse golpeando suavemente en las paredes del molde.

- Las muestras cilíndricas se desencofran y se sumergen en agua (curado) hasta el día del ensayo a compresión.
- El ensayo a compresión consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados, a una velocidad normalizada mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por la división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo entre el área de la sección recta de la probeta. Se expresa en kg/cm².

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (17)$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a la compresión de la probeta en kg/cm²

P = Carga de rotura (kg)

A = Área de la sección transversal en (cm²)

2.2.5.9 Concretos especiales

Hay diversos tipos de concreto que se han desarrollado para propósitos especiales. En general, la matriz basada en cemento se modifica de algún modo para mejorar determinadas propiedades.

a) Compuestos del concreto - polímero.

En general, los polímeros son materiales químicamente inertes, que tienen resistencias de compresión y de tensión más altas que el concreto común. Sin embargo los polímeros tienen un módulo de elasticidad más bajo y un flujo plástico más alto, y pueden degradarse con agentes oxidantes de calor, luz ultra violeta, agentes químicos y microorganismos; también ciertos solventes orgánicos pueden causar esfuerzos de agrietamiento. Es posible vencer muchas de estas desventajas al escoger un polímero adecuado y añadir sustancias tales como antioxidantes

para suprimir la oxidación y estabilizadores de luz para reducir la degradación ultravioleta (Neville, A. y Brooks, J. 1998).

b) Concreto de fibra reforzada.

Neville, A. y Brooks, J. (1998) señalan que el concreto de fibra reforzada es concreto hecho con cemento hidráulico, que contiene agregado fino o agregado fino y grueso, y fibras discontinuas. Las fibras pueden ser de material natural (asbestos, henequén, celulosa) o son un producto manufacturado como vidrio, acero, carbón y polímero (polipropileno).

Así mismo sostienen que la cantidad de fibra usada es pequeña, de 1% a 5% por volumen, y para darles efectividad como refuerzo de la resistencia a la tensión, elongación a la falla y módulo de elasticidad, las fibras necesitan tener sustancialmente más altas las propiedades correspondientes de la matriz. Además, las fibras deben exhibir muy bajo flujo plástico; de otro modo, ocurrirá un esfuerzo por relajación. La relación de Poisson debe ser similar a la de la matriz, para evitar esfuerzo lateral inducido; cualquier esfuerzo lateral significativo puede afectar a la adherencia entre superficies de contacto la cual debe tener una resistencia a corte lo suficientemente grande para permitir la transferencia del esfuerzo axial de la matriz a las fibras.

c) Concreto adicionado con las escorias de fundición de cobre.

En Concepción – Chile, Cendoya, P. (2009) utilizó Escoria de Fundición de Cobre (EFC) como material de adición en distintas proporciones en volumen (25%, 40% y 50%) para dos relaciones de agua cemento (0,45 y 0,52), para hacer el estudio experimental de las propiedades de Flexotracción y compresión.

Se concluye que el desarrollo de resistencia a compresión a edades tempranas (3, 7 días) es muy similar para todos los contenidos de EFC y una relación agua cemento; sin embargo a edades mayores se produce un aumento de la resistencia en relación al hormigón de referencia, llegando a valores del 14,6% en el caso de considerar un 40% de EFC y una relación agua cemento de 0,45. Al igual que en caso de flexotracción y considerando los valores de las desviaciones normales es difícil concluir cuál de los porcentajes de EFC (40% o 50%) genera la máxima tensión de rotura a la compresión (Cendoya, P., 2009).

Los valores máximos de la resistencia tanto a flexotracción como compresión se alcanzan para contenidos de EFC del 40% y 50%. Sin embargo, después de un análisis de la desviación normal de los valores medios no es posible concluir cual de ambos contenidos de EFC genera la tensión de rotura mayor (Cendoya, P., 2009).

d) Concreto con fibra de acero.

Según Carrillo, J. y colaboradores (2013), las ventajas más significativas de la adición de fibras de acero al concreto son las siguientes:

- Proveen tenacidad a flexión (capacidad de absorber energía después del agrietamiento).
- Aumentan la resistencia a tensión directa, a cortante y a torsión.
- Incrementan las propiedades de resistencia a impacto y a fatiga.
- Mejoran el comportamiento de contracción y flujo plástico.
- Incrementan la durabilidad en ciertas condiciones climáticas.

Carrillo, J. y colaboradores (2013), concluye que la trabajabilidad del concreto disminuye a medida que se incrementa la cantidad de fibras, especialmente cuando se utilizan fibras con longitudes de 60mm. Además de manera general concluye que la fibra de acero ocasione que el concreto se vuelva ligeramente menos resistente pero más dúctil cuando éste se somete a fuerzas axiales de compresión.

e) Concreto con viruta de acero.

Trabajos de tesis realizados en Colombia incluyeron el uso de viruta de acero en la mezcla de concreto para mejorar su resistencia a la compresión. En los distintos trabajos realizados, se probaron diferentes dosificaciones de viruta respecto del agregado fino en porcentajes que van desde el 6% al 20%¹.

Se ensayaron muestras sin adición de viruta como muestras patrón y muestras con distintas dosis de adición de viruta, concluyendo finalmente que el mayor incremento de la resistencia a la compresión se obtuvo en muestras que contenía un 10% de viruta, ya que se evidenció un incremento de la resistencia del 62% respecto de las muestras patrón (García, H. y Sarmiento, J., 2008).

¹ García, H. y Sarmiento, J., 2008; Suarez, A. y Vargas, A., 2008; García, A., 2008

2.2.6 Diseño de mezclas por el método: Módulo de fineza de la combinación de agregados

Según Rivva, E. (2013), como consecuencia de las investigaciones realizadas se ha podido establecer una ecuación que relaciona el módulo de fineza de los agregados finos y gruesos, así como su participación porcentual en el volumen absoluto total del agregado. La ecuación es:

$$m_c = r_f * m_f * r_g * m_g \quad (18)$$

Donde:

m_c : Módulo de fineza de la combinación de agregados

m_f : Módulo de fineza del agregado fino

m_g : Módulo de fineza del agregado grueso

r_f : Porcentaje del agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado

r_g : Porcentaje del agregado grueso en relación al volumen absoluto total de agregado

Y conociendo que $r_f + r_g = 100\%$; se tiene la siguiente ecuación:

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \times 100 \quad (19)$$

2.2.6.1 Resistencia requerida

Según la norma E.060 (2009), cuando una instalación productora de concreto no tenga registros de ensayos de Resistencia en obra para el cálculo de S_s , f'_{cr} debe determinarse de la Tabla 9.

Tabla 9. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra (ACI 318 – 11, 2011)

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 83$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Partiendo del hecho que siempre existe dispersión, aun cuando se tenga un control riguroso en obra, se tendrá que diseñar con valores más altos de $f'c$ especificado, se puede considerar la Tabla 10, para el cálculo de la resistencia en compresión promedio.

Tabla 10. Relación entre la resistencia promedio y la resistencia de diseño (ACI 318 – 11, 2011)

Condición de la ejecución en obra	Relación aproximada entre la resistencia promedio y la resistencia de diseño $f'_{cr} / f'c$
Excelentes	1.15
Intermedias	1.20 a 1.25
Corrientes	1.35 a 1.60

2.2.6.2 Elección del asentamiento

Según Samuel Laura Huanca si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la tabla 11.

Tabla 11. Consistencia, asentamiento y trabajabilidad del hormigón (Laura, S., 2006)

Consistencia	Asentamiento	Trabajabilidad
Seca	0" a 2"	Poco trabajable
Plástica	3" a 4"	Trabajable
Húmeda	$\geq 5"$	Muy trabajable

2.2.6.3 Selección del tamaño máximo del agregado

La norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones sostiene que el tamaño nominal del agregado grueso no deberá ser mayor de:

- Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados; o
- Un tercio del peralte de las losas; o
- Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo; paquetes de barras; torones, o ductos de preesfuerzo.

2.2.6.4 Estimación del agua de mezclado

Los valores de la tabla 12 son los máximos a ser utilizados cuando se emplea agregado grueso angular razonablemente bien perfilado y graduado dentro de los límites propuestos por especificaciones aceptadas (ASTM C 33 o NTP 400.037) el agregado grueso redondeado generalmente requiere 18 lt menos para concretos sin aire incorporado y 15 lt menos para concretos con aire incorporado (Rivva, E., 2013).

Tabla 12. Volumen unitario de agua (Rivva, E., 2013)

Slump	Tamaño máximo de agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin Aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
% Aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	---

Tabla 13. Volumen unitario de agua (Rivva, E., 2013)

Tamaño máximo nominal del agregado	Volumen unitario de agua expresado en lt/m^3 , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados					
	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Los valores de la tabla corresponden a concretos sin aire incorporado.

2.2.6.5 Selección del contenido de aire

Las burbujas de aire pueden estar presentes en la pasta como resultado de las operaciones propias del proceso de puesta en obra, en cuyo caso se conoce como aire atrapado o aire natural; o pueden encontrarse en la mezcla debido a que han sido intencionalmente incorporados en ella, en cuyo caso se les conoce como aire incorporado (Rivva, E., 2013).

Rivva, E. (2013) indica que la Tabla 14 da el porcentaje aproximado de aire atrapado, en mezclas sin aire incorporado, para diferentes tamaños máximos nominales de agregado grueso bien graduado dentro de los requisitos de la norma NTP 400.037 o ASTM C 33.

Si es necesario o se desea trabajar con aire incorporado, la Tabla 15 da tres niveles de aire total, los cuales dependen de los propósitos de

empleo del aire incorporado y de la severidad de las condiciones del clima (Rivva, E., 2013).

Tabla 14. Contenido de aire atrapado (Rivva, E., 2013)

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Tabla 15. Contenido de aire incorporado y total (Rivva, E., 2013)

Tamaño máximo nominal	Contenido de aire total en %		
	Exposición suave	Exposición moderada	Exposición severa
3/8"	4.5	6.0	7.5
1/2"	4.0	5.5	7.0
3/4"	3.5	5.0	6.0
1"	3.0	4.5	6.0
1 1/2"	2.5	4.5	5.5
2"	2.0	4.0	5.0
3"	1.5	3.5	4.5
6"	1	3.0	4.0

2.2.6.6 Elección de la relación agua/cemento (a/c)

La relación agua – cemento de diseño, que es el valor a ser seleccionado de las tablas, se refiere a la cantidad de agua que

interviene en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco, es decir que no toma ni aporta agua (Rivva, E., 2013).

Tabla 16. Relación agua – cemento por resistencia (Rivva, E., 2013)

f'cr (28 días)	Relación agua – cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	---
450	0.38	---

Tabla 17. Relación agua – cemento por resistencia (Rivva, E., 2013)

f'cr (28 días)	Estimación de la relación agua – cemento en peso para agregado grueso del tamaño máximo nominal indicado		
	3/8"	3/4"	1 1/2"
140	0.87	0.85	0.80
175	0.79	0.76	0.71
210	0.72	0.69	0.64
245	0.66	0.62	0.58
280	0.61	0.58	0.53
315	0.57	0.53	0.49
350	0.53	0.49	0.45

2.2.6.7 Cálculo del contenido de cemento

Conocidos el volumen unitario de agua por unidad de volumen del concreto y la relación agua - cemento seleccionada, se puede determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto mediante el simple expediente de dividir el volumen unitario de agua, expresado en litros por metro cúbico, entre la relación agua - cemento, obteniéndose el número de kilos de cemento de la unidad cúbica de concreto (Rivva, E., 2013).

2.2.6.8 Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino

Las investigaciones realizadas en la Universidad de Maryland han permitido establecer que la combinación de los agregados fino y grueso, cuando éstos tienen granulometrías comprendidas dentro de los límites que establece la norma ASTM C 33, debe producir un concreto trabajable en condiciones ordinarias (Rivva, E., 2013).

Tabla 18. Módulo de fineza de la combinación de agregados (Rivva, E., 2013)

Tamaño máximo del agregado grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos/metro cúbico indicados			
	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

2.2.7 Limaduras de hierro fundido

La limadura es un material que se genera como subproducto del corte, despunte y rectificado de discos de embrague en las máquinas de torno.

La limadura es un residuo sólido proveniente de procesos industrializados elaborados con el hierro gris, por lo tanto presenta el mismo color y textura de éste. Su tamaño se encuentra distribuido, en gran porcentaje, entre el tamiz de 1.18 mm (N°16) y 0.075 mm (N°200). Es un material dúctil y maleable debido a que presentan características físicas muy similares a las del hierro gris (Reyes, J. y Rodríguez, Y., 2010).

Tabla 19. Componentes adicionales de la limadura de hierro fundido (Reyes, J. y Rodríguez, Y., 2010)

Elemento	Símbolo	Cantidad ASTM A247-10
Carbono	C	3.2% - 3.6%
Silicio	Si	1.8% - 2.4%
Azufre	S	0.12% - 0.15%

En la ciudad de Cajamarca este material es producido como un sub producto del trabajo con piezas metálicas en las empresas manufactureras que brindan servicio de Torno en general y en las empresas especializadas en trabajos con piezas de motores como son las “Rectificadoras”.

Para la presente investigación se emplearon limaduras de hierro fundido procedentes de la empresa “Rectificaciones Trujillo”, la cual produce entre 20 a 30 kg por semana de este material de desecho, proveniente de los trabajos de corte y rectificación de piezas de motores.

2.3 Definición de términos básicos

A continuación se definen los términos básicos que han sido utilizados en la presente investigación.

2.3.1 Acelerante

Sustancia que al ser añadida al concreto, mortero o lechada, acorta el tiempo de fraguado y/o incrementa la velocidad de desarrollo inicial de resistencia (E.060, 2009).

2.3.2 Aditivo

Material distinto del agua, del agregado o del cemento, el cual es utilizado como un componente del concreto y que se añade a éste antes o durante el mezclado a fin de modificar una o algunas de sus propiedades (Rivva, E., 2013).

2.3.3 Agregado bien graduado

Agregado cuya distribución de tamaños de partículas produce una densidad máxima, es decir minimiza los vacíos (NTP 400.011, 2013).

2.3.4 Agregado que pasa

Se considera que un agregado pasa por un tamiz, siempre que no retenga más del 5% en masa (peso) de material tamizado (NTP 400.011, 2013).

2.3.5 Agregado retenido

Un agregado es retenido por un tamiz cuando este no deja pasar más de un 5% en masa (peso) del material tamizado (NTP 400.011, 2013).

2.3.6 Arena gradada

Denominación de la arena normalizada gradada predominantemente entre los tamices de 600 μm (N° 30) y de 150 μm (N°100) (NTP 400.011, 2013).

2.3.7 Canto rodado

En geología, fragmento de roca entre 2 ½" y 10" de diámetro (NTP 400.011, 2013).

2.3.8 Concreto patrón o control

En la presente investigación y en las investigaciones citadas, se refiere al concreto elaborado únicamente con materiales convencionales (cemento, agregados y agua) y no contiene ningún aditivo o material de adición.

2.3.9 Curva granulométrica

Representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados (NTP 400.011, 2013).

2.3.10 Granulometría

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado. La NTP 400.012 establece el procedimiento para su distribución mediante el tamizado, obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices (NTP 400.011, 2013).

2.3.11 Probeta (testigo)

Cilindro de hormigón de 15cm (6") de diámetro y 30 cm (12") de altura, curado bajo condiciones controladas (Rivera, G., 1992).

2.3.12 Curado

Mantener el hormigón o el mortero a una temperatura y humedad adecuadas para asegurar su hidratación y endurecimiento adecuados (Rivera, G., 1992).

2.3.13 Diseño de mezcla

Procesos de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido tenga la trabajabilidad y consistencia adecuadas; y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador e indicados en los planos y/o las especificaciones de la obra (Rivva, E., 2013).

2.3.14 Durabilidad

Capacidad del concreto endurecido de mantener sus propiedades en el tiempo aún en condiciones de exposición que normalmente podrían disminuir o hacerle perder su capacidad estructural (Rivva, E., 2013).

2.3.15 Escoria (Slag)

Material no metálico formado por silicatos y otras bases producto de la fusión de hierro en un alto horno (Cendoya, P., 2009).

2.3.16 Limalla (Limaduras)

Son las virutas o limaduras finas de los residuos del metal como resultado de las operaciones metalúrgicas (Reyes, J. y Rodríguez, Y., 2010).

2.3.17 Módulo de elasticidad

Relación entre la fatiga unitaria y la correspondiente deformación unitaria en un material sometido a un esfuerzo que está por debajo del límite de elasticidad del material. También llamado módulo de Young (Rivera, G., 1992).

2.3.18 Módulo de rotura

Resistencia máxima determinada en un ensayo de flexión o torsión (Rivera, G., 1992).

2.3.19 NTP (NTP)

Norma Técnica Peruana.

2.3.20 Piedra triturada o chancada

Agregado grueso, obtenido por trituración artificial de rocas o gravas (NTP 400.011, 2013).

2.3.21 Resistencia

Es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el concreto sin romperse (Rivva, E. 2013).

2.3.22 Segregación

Separación de los componentes de una mezcla heterogénea, de modo que su distribución ya no es uniforme (Rivera, G., 1992).

2.3.23 Viruta de acero (Steel wool)

Fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral que es extraído al realizar trabajos de cepillado, desbastado o perforación sobre metales (Reyes, J. y Rodríguez, Y., 2010).

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

III. MATERIALES Y MÉTODO

3.1 Cantera de estudio

Los agregados para la presente investigación pertenecen a la Cantera "Mendoza", extraídos del río Cajamarquino.

a) Ubicación.

- Región: Cajamarca
- Provincia: Cajamarca
- Distrito: Baños del Inca
- Coordenadas UTM (aproximadas):
Norte: 9204916
Este: 781007



Figura 2. Ubicación de la cantera Mendoza

Figura tomada de Google Earth

La cantera está ubicada aproximadamente en el Km 2.5 de la carretera Baños del Inca - Llacanora.

b) Accesibilidad

Para llegar a la cantera de estudio, es necesario trasladarse por la carretera que conduce hacia Llacanora desde Baños del Inca, aproximadamente hasta la altura del Km 2.5, para luego acceder por medio de una trocha carrozable hasta la cantera.

3.2 Materiales de ensayo

3.2.1 Materiales de experimentales

- Cemento Pacasmayo Tipo I
- Agua potable
- Agregado fino del río Cajamarquino
- Agregado grueso del río Cajamarquino
- Limaduras de hierro fundido (Rectificadora Trujillo)

3.2.2 Equipo experimental

- Tamices para la selección del agregado
- Balanza electrónica
- Probeta graduada
- Cono de Abrams, varilla de hierro de 60 cm de largo y 5/8" de diámetro, semi-redondeado en un extremo.
- Cerretilla Buggy
- Máquina de ensayo de compresión

3.3 Procedimiento

3.3.1 Tipo de investigación

Tabla 20. Tipo y nivel de investigación

Criterio	Tipo de investigación
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Cuantitativa
Objetivos (alcances)	Descriptiva, analítica
Fuente de datos	Primaria
Diseño de prueba de la hipótesis	Experimental
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Contexto donde se desarrolla	Laboratorio
Intervención disciplinaria	Unidisciplinaria

Tabla 21. Variable, niveles y tratamientos en estudio

Variable	Niveles	Tratamientos	Código
Limaduras de hierro fundido	4%	Concreto con 4% de lh	C4
	6%	Concreto con 6% de lh	C6
	8%	Concreto con 8% de lh	C8
Control o blanco	0%	Concreto con 0% de lh	C0

3.3.2 Etapas del trabajo de investigación

- **Primera etapa: Revisión bibliográfica.** Consistió en la recopilación de datos o búsqueda de información en fuentes especializadas como: libros de la especialidad de tecnología del concreto, revistas científicas, artículos científicos, tesis de grado, etc.
- **Segunda etapa: Muestras de agregados.** Se tomaron las muestras de agregado fino y agregado grueso de la cantera y se los transportó hasta el laboratorio, donde se realizaron los ensayos respectivos.
- **Tercera etapa: Ensayos de los agregados.** Los cuales sirvieron para determinar sus propiedades físicas y mecánicas; obteniendo así los datos necesarios para realizar el diseño de mezcla. Así mismo se realizaron ensayos de granulometría y densidad a la limadura de hierro fundido.
- **Cuarta etapa: Diseño de mezcla.** Se realizó el diseño de mezcla para un concreto de resistencia $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, empleando el método: Módulo de fineza de la combinación de los agregados. Para lo cual se emplearon los criterios y tablas descritos en las bases teóricas. Por medio del diseño se determinaron las cantidades de materiales que se deben emplear para la elaboración del concreto.

Se decidió emplear el método de Módulo de fineza de la combinación de los agregados por las siguientes razones:

- En el método de diseño del Comité 211 del ACI, se determina en primer lugar los contenidos de cemento, agua, aire y agregado grueso y, por diferencia de la suma de volúmenes absolutos en relación con la unidad, el volumen absoluto y peso seco del agregado fino. De esta manera sea cual fuere la resistencia deseada, en tanto se mantengan constantes el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino, el contenido total de agregado grueso en la mezcla será el mismo, independientemente del contenido

de pasta. Este hecho ha llevado a muchos investigadores a cuestionar el Método de Diseño del ACI y buscar un procedimiento en el cual la relación fino-grueso se modifique en función del contenido de pasta en consideración al contenido de cemento de ésta (Rivva, E., 2013).

- Además la experiencia al diseñar con el método ACI, ha demostrado que las mezclas de concreto resultan tener un mayor contenido de gruesos, denominándola comúnmente “sobregrosa”.
- En cambio en el método del Módulo de fineza de la combinación de los agregados, los contenidos de agregados fino y grueso varían para las diferentes resistencias, siendo esta variación función, principalmente, de la relación agua-cemento y del contenido total de agua, expresados a través del contenido de cemento de la mezcla (Rivva, E., 2013).
- El método del Módulo de fineza de la combinación de los agregados tiene como consideración fundamental, además de lo ya expresado, la premisa de que el módulo de fineza del agregado fino o grueso es un índice de superficie específica y que en la medida que ésta aumenta se incrementa la demanda de pasta, así como que si se mantiene constante la pasta y se incrementa la fineza del agregado disminuye la resistencia por adherencia.

Se realizó un solo diseño base para determinar las proporciones de materiales del concreto patrón, sin adición de limaduras, posteriormente se calculó la equivalencia de los porcentajes (4%, 6% y 8%) de las limaduras de hierro en peso del agregado fino, y se ajustó el agua efectiva, manteniéndose constantes los valores del cemento y el agregado grueso, en todos los casos para la elaboración de las probetas.

Se realizó el reemplazo de parte del agregado fino por las limaduras de hierro en los porcentajes antes señalados, puesto que la presente investigación se basa en estudios anteriores realizados en la ciudad de

Bucaramanga – Colombia, en los que se determinó de manera experimental que no es conveniente reducir el porcentaje de agregado grueso en la mezcla, porque disminuye la resistencia a la compresión, contrario a lo que ocurre con el agregado fino que es compatible con la granulometría de las limaduras de hierro fundido (Reyes, J. y Rodríguez, Y., 2010).

- **Quinta etapa: Experimentación.** Se elaboraron en total 72 especímenes de concreto, 18 para cada tratamiento (porcentaje de adición de limaduras) y 18 especímenes patrón o de control.

Se realizaron los ensayos físicos y mecánicos de los especímenes en tres edades (7, 14 y 28 días), con lo cual se determinó la resistencia a la compresión para cada tratamiento en la edad respectiva. Los datos de laboratorio se tomaron empleando el formato “Guía de toma de datos”.

Además se elaboraron 9 especímenes, con porcentajes de adición de limaduras mayores a los rangos establecidos en la investigación: 10%, 20% y 30%, los cuales se ensayaron a la edad de 28 días; para corroborar los resultados realizados en los estudios anteriores, en los que se concluyó que con altos niveles de adición de limaduras, la resistencia a la compresión del concreto disminuye.

- **Sexta etapa: Procesamiento y análisis de resultados.** Se hizo uso de la Estadística Descriptiva para procesar y analizar los datos obtenidos en el experimento.
- **Séptima etapa: Discusión y conclusiones.** Donde se detallan los resultados obtenidos del tratamiento de los datos de la experimentación y se hacen las recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas.

3.3.3 Población y muestra

- a) **Población.** Para el caso específico de esta investigación no se considera población.

b) **Muestra.** Para la investigación emplearemos una muestra de 72 probetas.

De acuerdo a lo especificado en la norma ACI 318.08 un ensayo de resistencia corresponde al promedio de la resistencia de tres probetas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura, ensayados a los 28 días. En este caso se obtendrá la resistencia promedio de 6 probetas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, para cada tratamiento, ensayadas a las edades de 7, 14 y 28 días.

Adicionalmente se elaborarán 9 especímenes con porcentajes de limaduras de hierro fundido mayores a los límites establecidos en la investigación, los cuales serán probados a la edad de 28 días, para comprobar que con porcentajes de limaduras mayores al 10%, la resistencia a la compresión disminuye.

Tabla 22. Diseño experimental

% adición de limaduras	Código de Probetas	N° de probetas			TOTAL
		7 días	14 días	28 días	
4%	C-4	6	6	6	18
6%	C-6	6	6	6	18
8%	C-8	6	6	6	18
0%	C-0	6	6	6	18

Tabla 23. Especímenes adicionales

% adición de limaduras	Código de Probetas	N° de	TOTAL
		28 días	
10%	C-10	3	3
20%	C-20	3	3
30%	C-30	3	3

3.3.4 Prueba de resistencia a la compresión de especímenes

Una vez que los especímenes cilíndricos han sido curados convenientemente, se sometieron a esfuerzos de compresión de a distintas edades según lo programado (ver tabla 21), siguiendo el procedimiento descrito en la Norma NTP 339.034:

- Los cilindros serán protegidos de pérdida de humedad por cualquier método conveniente durante el período entre el retiro del almacenaje de humedad y el ensayo. Los cilindros serán ensayados en condición de húmedos.
- Colocación: Colocar el bloque de rotura inferior, sobre el cabezal de la máquina de ensayo. El bloque de rotura superior directamente bajo la rótula del cabezal. Limpiar las caras de contacto de los bloques superior e inferior y las de la probeta de ensayo y colocar el cilindro sobre el bloque inferior de rotura. Cuidadosamente alinear los ejes de la probeta con el centro de empuje de la rótula del bloque asentado.
- Verificación del cero y asiento del bloque: Antes de ensayar la probeta, verificar que el indicador de carga este en cero.
- Velocidad de carga. Aplicar la carga continuamente y sin detenimiento. La carga será aplicada a una velocidad de movimiento correspondiendo a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de 0.25 Mpa/s.

3.4 Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados

3.4.1 Tratamiento de los datos

Estudios anteriores han establecido ciertos lineamientos para el tratamiento de datos en este tipo de investigaciones, los cuales hacen especial incidencia en las gráficas de comportamiento “Esfuerzo – Deformación Unitaria” de los ensayos de carácter mecánico, se establece que:

- A un esfuerzo nulo le corresponde una deformación total nula de la probeta de ensayo.

- Siendo el concreto un material elasto – plástico, se ha establecido que la geometría de las curvas “Esfuerzo – Deformación Unitaria”, presentan dos tramos diferenciados: El tramo elástico y el tramo plástico.
- El tramo elástico es el primer tramo cuyo comportamiento se ajusta a una línea recta inclinada (función lineal) que parte desde cero (0,0) y asciende hasta el punto de “Esfuerzo en el límite proporcional elástico”.
- El tramo plástico, es el segundo tramo cuyo comportamiento se ajusta a una parábola (función cuadrática) o a un parábola cúbica (función cúbica) según sea el caso; que parte desde el punto de “Esfuerzo en el límite proporcional elástico” hasta el punto de “Esfuerzo de rotura o colapso”

3.4.2 Análisis de la información

Luego de ejecutar los ensayos de laboratorio y contar con los datos respectivos, se procedió de la siguiente manera:

- a) Tratamiento inicial de datos.** Consiste en reemplazar los datos obtenidos de los ensayos en las fórmulas respectivas, arrojando resultados; los cuales de acuerdo a la naturaleza del ensayo fueron aceptados como “Resultados iniciales” o fueron sometidos a otros tratamientos para aceptarlos como tales. Este procedimiento se ha realizado con la ayuda de un computador.
- b) Construcción de dispersogramas.** En algunos ensayos de acuerdo a su naturaleza y como la metodología lo exige se tiene que construir dispersogramas “Esfuerzo – Deformación unitaria”, para su posterior ajuste.
- c) Ajuste de curvas.** La unión de puntos correlativos que conforman el dispersograma “Esfuerzo – Deformación unitaria”, forman la curva de comportamiento mecánico del concreto ante fuerzas externas para cada ensayo; a esta curva resultante se la tiene que “ajustar” en sus

diferentes tramos, mediante tratamientos estadísticos, a fin de lograr las configuraciones establecidas por los esquemas que la bibliografía sugiere para los comportamientos de cada ensayo; con el objetivo de predecir matemáticamente el comportamiento ante las diferentes sollicitaciones externas a las que puede ser expuesto el concreto.

En consecuencia el ajuste de curvas consiste en la selección del modelo matemático que mejor se adapte a los datos del experimento. En este caso se ha buscado que el coeficiente de correlación de cada modelo, se ajuste lo máximo posible a la unidad. Esta operación se ha realizado con la ayuda de un ordenador.

d) Diagnóstico y análisis de curvas resultantes. Luego de realizado el “ajuste de curvas”, se realizó un análisis para los modelamientos obtenidos para cada experimento:

- **Diagnóstico.** Luego de ajustar las curva “Esfuerzo – deformación unitaria” a los modelamientos matemáticos resultantes, se define lo siguiente:
 - Los modelamientos matemáticos que mejor se adaptan a los diferentes son congruentes a los establecidos por la bibliografía existente.
 - Para este caso, en las curvas pertenecientes a los ensayos de compresión axial, el tramo elástico se ajusta a una función lineal y el tramo plástico se ajusta a una función cuadrática.
 - En consecuencia, la forma de las funciones que dominan el comportamiento de las curvas de los diferentes ensayos son:
Función cuadrática: $Y = aX^2 + bX + c$; $a, b, c \in \mathbb{R}$; $a \neq 0$
 - En las gráficas ajustadas se observa que la proyección de la línea de tendencia no intercepta al sistema de coordenadas “Esfuerzo (Y) – Deformación unitaria (X)” en el punto (0,0).
- **Análisis.** Se parte de la premisa que el comportamiento esfuerzo – deformación unitaria debe partir del punto (0,0) ya que para un

esfuerzo nulo, le debe corresponder una deformación nula, lo cual no se refleja en las gráficas, ya que observamos que al proyectar la curva correspondiente a la función cuadrática, intercepta al eje "X" (deformación unitaria) en algún punto diferente de cero (0) y este efecto es explicable, ya que al iniciar las pruebas existen ciertos factores que producen estos desfases, los cuales pueden ser:

- Que el deformímetro no esté calibrado exactamente en cero.
- Que la máquina universal las produzca debido a las compresiones del aceite del sistema hidráulico.
- Que sea producto de un error humano ya que es muy difícil que el operador de la máquina universal o el lector de las deformaciones logren una precisión absoluta en sus operaciones.
- Que los produzca el redondeo de los resultados de los cálculos relativos al "Tratamiento inicial de los datos".

Dadas estas teoría explicativas de lo que baría podido suceder, afirmamos que el comportamiento "Esfuerzo – deformación unitaria" es como se expresa en las "Curva ajustadas", a las cuales se las tiene que desplazar horizontalmente hasta hacerlas coincidir con el origen, valiéndose de criterios matemáticos relativos a funciones.

3.4.3 Corrección de errores.

Como se ha deducido con anterioridad, los modelamientos matemáticos de los datos de los experimentos realizados son los correctos, en consecuencia solamente bastará con desplazar dichas curvas horizontalmente a través del eje "X" (deformación unitaria) hasta hacerlas coincidir con el origen del sistema cartesiano "Esfuerzo – deformación unitaria", para aceptar dicho comportamiento como verdadero.

- **Determinación de la distancia a desplazar.** La distancia "K" que se debe desplazar horizontalmente a los modelamientos matemáticos de comportamiento "Esfuerzo – deformación unitaria", es la

correspondiente a la posición de "X" cuando "Y = 0" en la función lineal.

$$\text{Sea: } Y = aX^2 + bX + c; a, b, c \in \mathbb{R}, a \neq 0$$

$$\therefore \text{ Si } Y = 0 \Rightarrow 0 = aX^2 + bX + c$$

$$\Rightarrow X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\Rightarrow K = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (20)$$

- **Construcción de la función lineal desplazada.** Líneas arriba hemos determinado la distancia "K" que se tiene que desplazar horizontalmente al tramo elástico (función cuadrática) para hacerla coincidir con el punto (0,0) del eje del sistema cartesiano "Esfuerzo – deformación unitaria" sin alterar su comportamiento, por lo tanto:

$$\text{Sea: } Y = f(X) \wedge F(X) = f(X+K)$$

$$\Rightarrow \text{ Si: } Y = aX^2 + bX + c \Rightarrow Y = f(X) = aX^2 + bX + c$$

$$\Rightarrow F(X) = f(X+K) = a(X+K)^2 + b(X+K) + c$$

$$\Rightarrow f(X+K) = a(X^2 + K^2 + 2XK) + bX + bK + c$$

$$\Rightarrow f(X+K) = aX^2 + 2aXK + aK^2 + bX + bK + c$$

$$\Rightarrow f(X+K) = aX^2 + (2aK + b)X + (aK^2 + bK + c) \quad (21)$$

Reemplazando (20) en (21)

$$\therefore f(X+K) = aX^2 + (2aK + b)X + (aK^2 + bK + c)$$

$$\Rightarrow f(X+K) = aX^2 + \left(2a \left(\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right) + b \right) X + \left(a \left(\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right)^2 + b \left(\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right) + c \right)$$

$$\Rightarrow f(X+K) = aX^2 + \left(-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac} + b \right) X + \left(a \left(\frac{b^2 \pm 2b\sqrt{b^2 - 4ac} + b^2 - 4ac}{4a^2} \right) - \left(\frac{b^2 \pm b\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right) + c \right)$$

$$\Rightarrow f(X + K) = aX^2 + (\pm\sqrt{b^2 - 4ac})X + \left(\frac{2b^2 \pm 2b\sqrt{b^2 - 4ac} - 4ac}{4a} - \frac{b^2 \pm b\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} + c \right)$$

$$\Rightarrow f(X + K) = aX^2 + (\pm\sqrt{b^2 - 4ac})X + \left(\frac{b^2 \pm b\sqrt{b^2 - 4ac} - 2ac}{2a} - \frac{b^2 \pm b\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} + c \right)$$

$$\Rightarrow f(X + K) = aX^2 + (\pm\sqrt{b^2 - 4ac})X + \left(\frac{-2ac}{2a} + c \right)$$

$$\Rightarrow f(X + K) = aX^2 + (\pm\sqrt{b^2 - 4ac})X + 0$$

La función cuadrática desplazada horizontalmente quedaría definida por la fórmula:

$$Y = aX^2 + (\pm\sqrt{b^2 - 4ac})X + 0 \quad (22)$$

Donde:

Y: Función cuadrática que domina el tramo plástico (valor del esfuerzo para una deformación unitaria "X").

a: Coeficiente de la variable de segundo grado del modelamiento matemático inicial de la "curva ajustada" en su tramo plástico.

b: Coeficiente de la variable de primer grado del modelamiento matemático inicial de la "curva ajustada" en su tramo plástico.

c: Coeficiente independiente del modelamiento matemático inicial de la "curva ajustada" en su tramo plástico.

X²: Variable de segundo grado del modelamiento matemático (deformación unitaria elevada al cuadrado, del correspondiente esfuerzo).

3.4.4 Formulación de funciones y construcción de curvas de comportamiento.

Una vez corregidos los errores, haciendo uso de las fórmulas deducidas en el numeral anterior, se determina de manera rápida y precisa las funciones que dominan los correspondientes comportamientos “ideales” en los diferentes tramos de las curvas “Esfuerzo – deformación unitaria” de los ensayos mecánicos realizados para la investigación.

Luego se realizó la tabulación respectiva y por ende la construcción de las “Curvas de comportamiento” para los diferentes ensayos, lo que constituye los “Resultados iniciales” de los ensayos mecánicos especificados anteriormente (Ver gráficas Esfuerzo – Deformación unitaria del concreto en Anexo II).

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Características físicas de los agregados

4.1.1 Forma

a) Agregado fino (Río Cajamarquino – Mendoza – Baños del Inca)

La arena que empleada en la investigación presenta partículas de forma angular, con pocas impurezas.

b) Agregado grueso (Río Cajamarquino – Mendoza – Baños del Inca)

El material de esta cantera presenta granos de tamaño heterogéneo y de forma sub – angular.

4.1.2 Textura

a) Agregado fino (Río Cajamarquino – Mendoza – Baños del Inca)

Presenta superficie áspera.

b) Agregado grueso (Río Cajamarquino – Mendoza – Baños del Inca)

Presenta superficie lisa.

4.1.3 Análisis granulométrico en seco por tamizado (NTP 400.037)

4.1.3.1 Agregado fino

Tabla 24. Análisis granulométrico del agregado fino

Peso seco inicial: 1990.00 g

Tamiz		Peso retenido promedio (g)	%Retenido promedio	%Retenido Acumulado	% Que pasa	Gradación C
Nº	Abertura (mm)					
3/8	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100
4	4.75	364.00	364.00	18.29	81.71	89 - 100
8	2.36	345.00	709.00	35.63	64.37	65 - 100
16	1.18	236.00	945.00	47.49	52.51	45 - 100
30	0.60	297.00	1242.00	62.41	37.59	25 - 80
50	0.30	276.00	1518.00	76.28	23.72	5 - 48
100	0.15	264.00	1782.00	89.55	10.45	0 - 12
200	0.08	116.00	1898.00	95.38	4.62	
Cazoleta		92.00	1990.00	100.00	0.00	

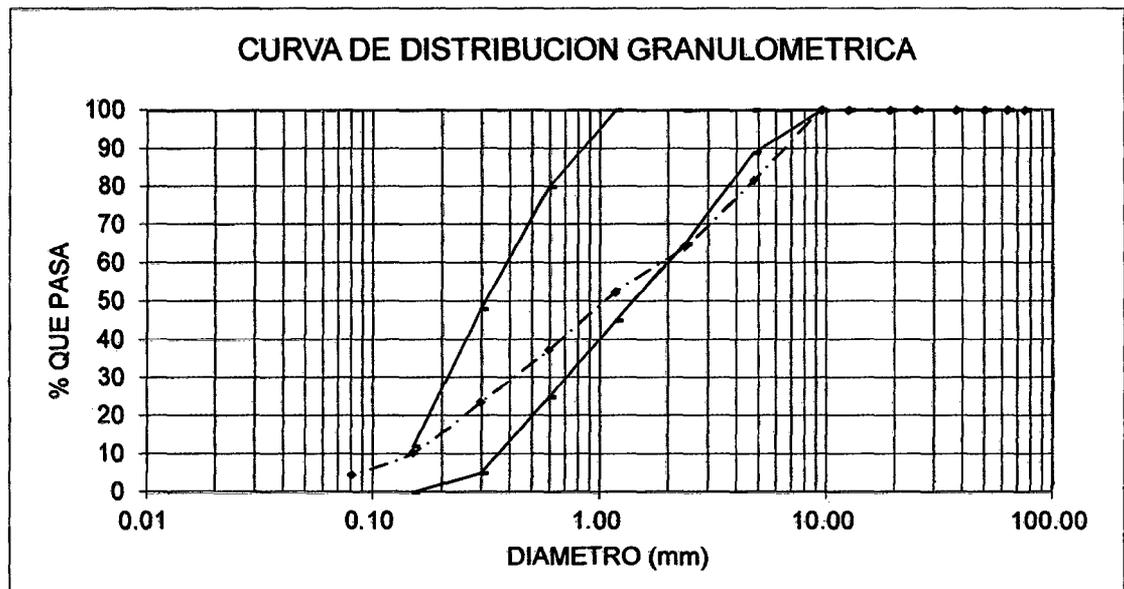


Figura 03. Curva granulométrica del agregado fino

D10 = 0.19

D30 = 0.42

D60 = 1.00

Cu = 5.26

Cc = 0.93

4.1.3.2 Agregado grueso

Tabla 25. Análisis granulométrico del agregado grueso

Peso seco inicial: 8555.00g

Tamiz		Peso retenido promedio (g)	Peso retenido acumulado	%Retenido Acumulado	% Que pasa	Huso granulométrico 67
Nº	Abertura (mm)					
2	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100
1 1/2	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100
1	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100
3/4	19.00	1982.00	1982.00	23.17	76.83	90 - 100
1/2	12.70	4526.00	6508.00	76.07	23.93	45 - 70
3/8	9.51	1727.00	8235.00	96.26	3.74	20 - 55
Nº 4	4.76	263.00	8498.00	99.33	0.67	0 - 10
Nº 8	2.36	0.00	8498.00	99.33	0.67	0 - 5
Nº 200		30.00	8528.00	99.68	0.32	
Cazoleta		27.00	8555.00	100.00	0.00	

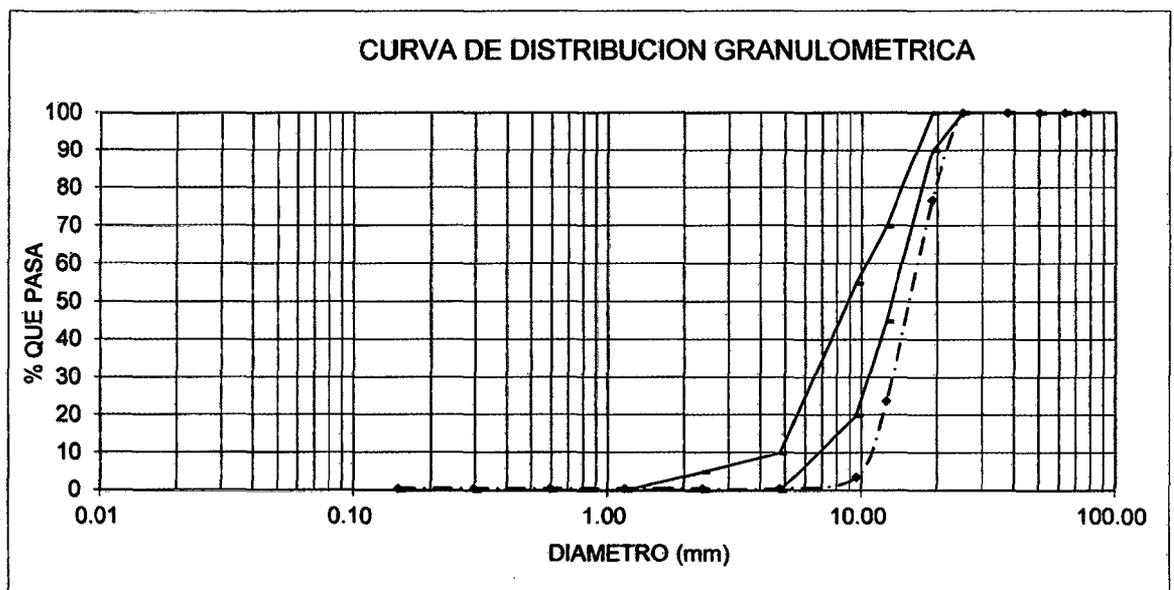


Figura 04. Curva granulométrica del agregado grueso

D10 = 8.062

D30 = 11.025

D60 = 14.227

Cu = 1.765

Cc = 1.060

4.1.4 Módulo de Finura

4.1.4.1 Agregado fino

Promedio M.F. = 3.30

4.1.4.2 Agregado grueso

Promedio M.G. = 7.15

4.1.5 Tamaño máximo del agregado (NTP 400.011)

- Tamaño máximo = 1" (25.4 mm)
- Tamaño máximo nominal = ¾" (19 mm)

4.1.6 Peso específico y absorción (NTP 400.021 y NTP 400.022)

4.1.6.1 Agregado fino

Tabla 26. Gravedad específica y absorción del agregado fino

GRAVEDADES ESPECÍFICAS Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS			
ASTM C128			
ENSAYO	1	2	3
PESO SECO AL HORNO (gr)	494.20	494.10	494.20
VOLUMEN DEL FRASCO (cm ³)	500.00	500.00	500.00
PESO DEL AGUA AÑADIDA (gr)	305.80	306.00	305.00
PESO ESPECÍFICO DE MASA P. e.	2.54	2.55	2.53
PROMEDIO P_e		2.54	
PESO ESPECÍFICO CON SUPERFICIE SECA P. e. s. s. s.	2.57	2.58	2.56
PROMEDIO P. e. s. s. s.		2.57	
PESO ESPECÍFICO APARENTE P. e. a.	2.62	2.63	2.61
PROMEDIO P. e. a.		2.62	
ABSORCIÓN (%)	1.17	1.19	1.17
PROMEDIO DE ABSORCIÓN (%)		1.18	

4.1.6.2 Agregado grueso

Tabla 27. Peso específico y absorción del agregado grueso

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO				
ASTM C 128 / NTP 400.021				
ENSAYO N°	1	2	3	PROMEDIO
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO (gr)	3155.80	3175.20	3111.20	
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (gr)	3194.80	3215.20	3150.50	
PESO SUMERGIDO EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA (gr)	1948.20	1948.50	1909.20	
PESO ESPECIFICO APARENTE (gr/cm3) P.e.a.	2.613	2.588	2.588	2.60
PESO ESPECIFICO DE MASA (gr/cm3) Pe	2.532	2.507	2.506	2.52
PESO ESP. DE MASA (gr/cm3) SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO P.e.s.s.s.	2.563	2.538	2.538	2.55
ABSORCIÓN (%)	1.24	1.26	1.26	1.25

4.1.7 Peso unitario y contenido de humedad

4.1.7.1 Agregado fino

Tabla 28. Peso unitario y contenido de humedad del agregado fino

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO			
NTP 400.017 / ASTM C - 29			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso del recipiente (gr.)	4560.00	4560.00	4560.00
Peso del recipiente + material sin compactar (gr.)	9536.00	9540.00	9538.00
Peso del recipiente + material compactado (gr.)	9918.00	9925.00	9916.00
Peso del material sin compactar (gr.)	4976.00	4980.00	4978.00
Peso del material compactado (gr.)	5358.00	5365.00	5356.00
Factor (f)	313.518	313.518	313.518
Peso Unitario Seco Suelto (Kg/m3)	1560	1561	1561
P. UNITARIO S. SUELTO PROMEDIO =		1561	Kg/m3
Peso Unitario Seco Compactado (Kg/m3)	1680	1682	1679
P. UNITARIO S. COMPACTADO PROMEDIO =		1680	Kg/m3
Peso de tara	25.00	25.20	25.10
Peso de tara + Muestra húmeda	895.50	247.10	267.80
Peso de tara + Muestra seca	863.50	239.00	258.90
Contenido de Humedad	3.82	3.79	3.81
Promedio W%		3.80	

Tabla 29. Material que pasa el tamiz N°200

MATERIAL MAS FINO QUE EL TAMIZ N° 200			
A.S.T.M. C 117 / NTP 400.018			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso seco de la muestra original (gr.)	500.00	500.00	500.00
Peso seco de la muestra lavada (gr.)	483.50	484.60	484.00
Peso de material que pasa el tamiz N° 200 (gr.)	16.50	15.40	16.00
% de material que pasa el tamiz N° 200	3.30%	3.08%	3.20%
PROMEDIO		3.2%	

4.1.7.2 Agregado grueso

Tabla 30. Peso unitario y contenido de humedad del agregado grueso

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO			
NTP 400.017 / ASTM C - 29			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso del recipiente (gr.)	4560.00	4560.00	4560.00
Peso del recipiente + material sin compactar (gr.)	9392.00	9385.00	9398.00
Peso del recipiente + material compactado (gr.)	9678.00	9664.00	9671.00
Peso del material sin compactar (gr.)	4832.00	4825.00	4838.00
Peso del material compactado (gr.)	5118.00	5104.00	5111.00
Factor (f)	313.518	313.518	313.518
Peso Unitario Seco Suelto (Kg/m3)	1515	1513	1517
P. UNITARIO S. SUELTO PROMEDIO		1515	Kg/m3
=			
Peso Unitario Seco Compactado (Kg/m3)	1605	1600	1602
P. UNITARIO S. COMPACTADO PROMEDIO =		1602	Kg/m3
Peso de tara	78.50	79.40	81.50
Peso de tara + Muestra húmeda	520.60	650.10	675.50
Peso de tara + Muestra seca	518.50	647.50	672.80
Contenido de Humedad	0.48	0.46	0.46
Promedio W%		0.46	

4.1.8 Resistencia a la abrasión (NTP 400.019 y NTP 400.020)

Tabla 31. Resistencia a la abrasión del agregado grueso

TAMAÑO DEL TAMIZ				PESOS Y GRANULOMETRIAS DE GRADACIÓN	
PASA		RETIENE		B	B
1 1/2	(37,5 mm)	1	(25 mm)		
1	(25 mm)	3/4	(19 mm)		
3/4	(19 mm)	1/2	12,5 mm	2502	2503
1/2	12,5 mm	3/8	(9,5mm)	2500	2501
3/8	(9,5mm)	1/4	(6,3 mm)		
1/4	(6,3 mm)	N°4	(4,75mm)		
N°4	(4,75 mm)	N°8	(2,36 mm)		
NUMERO DE ESFERAS				11	11
TOTAL				5002	5004
PESO RETENIDO EN LA N° 12				3740	3664
PORCENTAJE DE DESGASTE (%)				25.23	26.78
PROMEDIO De (%)				26.00	

De los resultados de los ensayos del agregado fino, se concluye lo siguiente:

- La granulometría del agregado no se ajusta en su totalidad a los límites de gradación establecidos en la norma NTP 400.037.
- El módulo de finura del agregado fino indica que se trata de una arena gruesa, puesto que se produce un alto retenido de material en la malla N°4, lo cual es lo predominante en la ciudad de Cajamarca.
- Los ensayos de peso unitario del agregado se ajustaron a los parámetros establecidos en la norma NTP 400.017, lo cual es un indicador de calidad del agregado.

De los resultados de los ensayos del agregado grueso, se concluye lo siguiente:

- La granulometría del agregado no se ajusta en su totalidad a los límites de gradación N° 67 establecido en la norma ASCTM C33.
- El módulo de finura del agregado grueso indica que es adecuado para la elaboración de concretos de alta resistencia.
- Los ensayos de peso unitario del agregado se ajustaron a los parámetros establecidos en la norma NTP 400.017, lo cual es un indicador de calidad del agregado.
- Se determinó que el agregado posee una alta resistencia a la abrasión, lo cual indica que es adecuado para la elaboración de concretos de alta resistencia.

4.2 Características físicas de las limaduras de hierro fundido

4.2.1 Análisis granulométrico

Tabla 32. Análisis granulométrico de las limaduras de hierro fundido

Peso seco inicial: 974.30g

Tamiz		Peso retenido promedio (g)	%Retenido promedio	%Retenido Acumulado	% Que pasa	Huso granulométrico M
Nº	Abertura (mm)					
3/8	9.51	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100
4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	85 - 100
8	2.36	0.00	0.00	0.00	100.00	65 - 100
16	1.18	62.80	6.32	6.32	93.68	45 - 100
30	0.6	508.80	51.19	57.51	42.49	25 - 80
50	0.30	239.60	24.11	81.62	18.38	5 - 48
100	0.15	109.80	11.05	92.67	7.33	0 - 12
200	0.075	53.30	5.36	98.03	1.97	
Cazoleta		19.60	1.97	100.00	0.00	

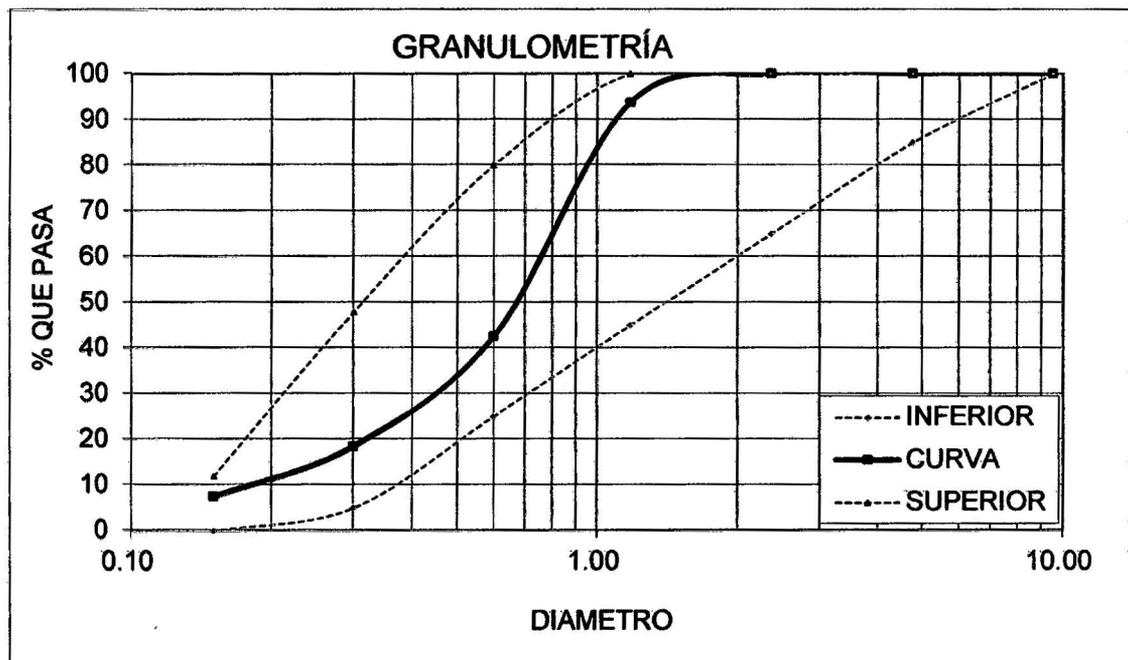


Figura 05. Curva granulométrica de las limaduras de hierro

4.2.2 Módulo de finura

- Promedio M.F. = 2.38

4.2.3 Peso específico

Se determinó aplicando el principio de desplazamiento volumétrico, para lo cual se registró una cantidad conocida de agua (100 cm³) en una probeta y se agregó cuidadosamente un peso determinado de limaduras (100g), lo cual generó un desplazamiento en el volumen de agua. El peso específico estaría dado por el peso de las limaduras dividido entre el volumen de agua desplazado.

Tabla 33. Peso específico de las limaduras de hierro fundido

Ensayo N°	Peso limaduras (g)	Vol. agua (cm ³)	Vol. agua + limaduras (cm ³)	Peso específico (gr/cm ³)
1	100	100	130	3.33
2	100	100	130	3.33
3	100	100	132	3.13
Peso específico promedio				3.26

De los resultados de los ensayos de las limaduras de hierro fundido, se concluye lo siguiente:

- La granulometría de las limaduras indica cierta semejanza con el agregado fino, sin embargo en su mayoría contiene partículas bastante finas, lo cual se puede apreciar puesto que no produce retenidos en las mallas N°4 y N°8.
- El módulo de finura de las limaduras es inferior al rango establecido para el agregado fino.
- Del ensayo del peso específico se puede apreciar que este material ocupa un volumen pequeño en relación a su peso.

4.3 Propiedades del concreto fresco

4.3.1 Peso unitario y consistencia del concreto

Se expresa en Kg/m³, usando la siguiente fórmula:

$$\text{Peso unitario} = \frac{\text{Peso (molde+concreto)} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}} \quad (23)$$

a) Peso unitario del concreto normal (C – 0)

Peso total	: 23.09
Peso molde	: 10.244 kg
Volumen del molde (Ø=0.152m, h=0.301m)	: 0.0055 m ³
Asentamiento	: 3.5"
Peso unitario	: 2335.64 kg/m³

b) Peso unitario del concreto con 4% de limaduras de hierro (C – 4)

Peso total	: 23.27
Peso molde	: 10.244 kg
Volumen del molde (Ø=0.152m, h=0.301m)	: 0.0055 m ³
Asentamiento	: 4"
Peso unitario	: 2367.64 kg/m³
Agua efectiva (tanda 0.02m³)	: 0.00361 m³

c) Peso unitario del concreto con 6% de limaduras de hierro (C – 6)

Peso total	: 23.30
Peso molde	: 10.244 kg
Volumen del molde (Ø=0.152m, h=0.301m)	: 0.0055 m ³
Asentamiento	: 4"
Peso unitario	: 2374.55 kg/m³
Agua efectiva (tanda 0.02m³)	: 0.00372 m³

d) Peso unitario del concreto con 8% de limaduras de hierro (C – 8)

Peso total	: 23.38
Peso molde	: 10.244 kg
Volumen del molde ($\varnothing=0.152\text{m}$, $h=0.301\text{m}$)	: 0.0055 m ³
Asentamiento	: 3.5"
Peso unitario	: 2387.64 kg/m³
Agua efectiva (tanda 0.02m³)	: 0.00388 m³

e) Peso unitario del concreto con 10% de limaduras de hierro (C – 10)

Peso total	: 23.39
Peso molde	: 10.244 kg
Volumen del molde ($\varnothing=0.152\text{m}$, $h=0.301\text{m}$)	: 0.0055 m ³
Asentamiento	: 3.2"
Peso unitario	: 2390.00 kg/m³
Agua efectiva (tanda 0.02m³)	: 0.00404 m³

f) Peso unitario del concreto con 20% de limaduras de hierro (C – 20)

Peso total	: 23.42
Peso molde	: 10.244 kg
Volumen del molde ($\varnothing=0.152\text{m}$, $h=0.301\text{m}$)	: 0.0055 m ³
Asentamiento	: 3.2"
Peso unitario	: 2396.36 kg/m³
Agua efectiva (tanda 0.02m³)	: 0.00406 m³

g) Peso unitario del concreto con 30% de limaduras de hierro (C – 30)

Peso total	: 23.47
Peso molde	: 10.244 kg
Volumen del molde ($\varnothing=0.152\text{m}$, $h=0.301\text{m}$)	: 0.0055 m ³
Asentamiento	: 4"
Peso unitario	: 2405.09 kg/m³
Agua efectiva (tanda 0.02m³)	: 0.00409 m³

De los ensayos realizados se observa que:

- El peso unitario del concreto aumenta conforme se incrementa la adición de limaduras de hierro fundido a la mezcla.
- La trabajabilidad de la mezcla no se vio afectada por la presencia de las limaduras de hierro.
- El Slump de todas las tandas se encuentra dentro de los límites considerados en el diseño (3" a 4").
- El agua efectiva de las mezclas que contiene la limadura de hierro es variable y va en aumento conforme se incrementa el porcentaje de adición, esto se explica por la disminución del agregado fino que ha reemplazado por las limaduras, por lo tanto se pierde cierta cantidad del aporte de humedad de dicho agregado.

4.4 Propiedades del concreto endurecido

4.4.1 Resistencia a la compresión a los 7 días

Se probaron los especímenes cilíndricos de concreto en la edad de 7 días, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 34. Ensayo de compresión C-0, 7 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-0-1	15.00	15.00	15.00	12.846	30.400	26030	176.71	147.30	210.00	70.14	5 - superior
2	C-0-2	15.00	15.00	15.00	12.932	30.300	31580	176.71	178.71	210.00	85.10	5 - superior
3	C-0-3	15.10	15.10	15.10	12.982	30.400	30610	179.08	170.93	210.00	81.40	6
4	C-0-4	15.00	15.00	15.00	12.888	30.400	25150	176.71	142.32	210.00	67.77	6
5	C-0-5	15.10	15.10	15.10	12.882	30.400	25660	179.08	143.29	210.00	68.23	5 - superior
RESISTENCIA PROMEDIO									156.51			
% ADICIÓN DE LIMADURAS: 0%												
CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-0												
EDAD DE LAS PROBETAS: 7 días												
FECHA DE ENSAYO: 23/10/2014												

Tabla 35. Ensayo de compresión C-4, 7 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-4-1	15.10	15.20	15.15	13.022	30.400	39220	180.27	217.57	210.00	103.60	5 - inferior
2	C-4-2	15.10	15.20	15.15	13.162	30.400	40720	180.27	225.89	210.00	107.57	5 - superior
3	C-4-3	15.00	15.10	15.05	13.112	30.500	38170	177.89	214.57	210.00	102.17	5 - superior
4	C-4-4	15.20	15.10	15.15	13.098	30.300	40750	180.27	226.05	210.00	107.64	5 - inferior
5	C-4-5	15.20	15.20	15.20	13.248	30.400	36260	181.46	199.83	210.00	95.15	5 - inferior
RESISTENCIA PROMEDIO									216.78			
% ADICIÓN DE LIMADURAS: 4%												
CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-4												
EDAD DE LAS PROBETAS: 7 días												
FECHA DE ENSAYO: 23/10/2014												

Tabla 36. Ensayo de compresión C-6, 7 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-6-1	15.00	15.20	15.10	13.174	30.400	40840	179.08	228.06	210.00	108.60	5 - inferior
2	C-6-2	15.20	15.20	15.20	13.114	30.300	38860	181.46	214.15	210.00	101.98	5 - superior
3	C-6-3	15.20	15.20	15.20	13.084	30.300	39430	181.46	217.29	210.00	103.47	5 - superior
4	C-6-4	15.20	15.10	15.15	13.108	30.400	39780	180.27	220.67	210.00	105.08	5 - inferior
5	C-6-5	15.20	15.20	15.20	13.060	30.300	39100	181.46	215.48	210.00	102.61	6
RESISTENCIA PROMEDIO									219.13			

% ADICIÓN DE LIMADURAS: 6%

CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-6

EDAD DE LAS PROBETAS: 7 días

FECHA DE ENSAYO: 24/10/2014

Tabla 37. Ensayo de compresión C-8, 7 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-8-1	15.40	15.20	15.30	13.394	30.300	33560	183.85	182.54	210.00	86.92	5 - superior
2	C-8-2	15.20	15.30	15.25	13.238	30.400	33330	182.65	182.48	210.00	86.89	5 - superior
3	C-8-3	15.40	15.20	15.30	13.282	30.300	39760	183.85	216.26	210.00	102.98	6
4	C-8-4	15.40	15.20	15.30	13.132	30.500	34680	183.85	188.63	210.00	89.82	6
5	C-8-5	15.30	15.20	15.25	13.228	30.400	35810	182.65	196.05	210.00	93.36	5 - superior
RESISTENCIA PROMEDIO									193.19			

% ADICIÓN DE LIMADURAS: 8%

CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-8

EDAD DE LAS PROBETAS: 7 días

FECHA DE ENSAYO: 25/10/2014

Tabla 38. Resistencia a la compresión - 7 días

CÓDIGO DE MEZCLA	% ADICIÓN DE LIMADURAS	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA
C - 0	0	23/10/2014	7	156.51	210.00	74.53
C - 4	4	23/10/2014	7	216.78	210.00	103.23
C - 6	6	24/10/2014	7	219.13	210.00	104.35
C - 8	8	25/10/2014	7	193.19	210.00	92.00

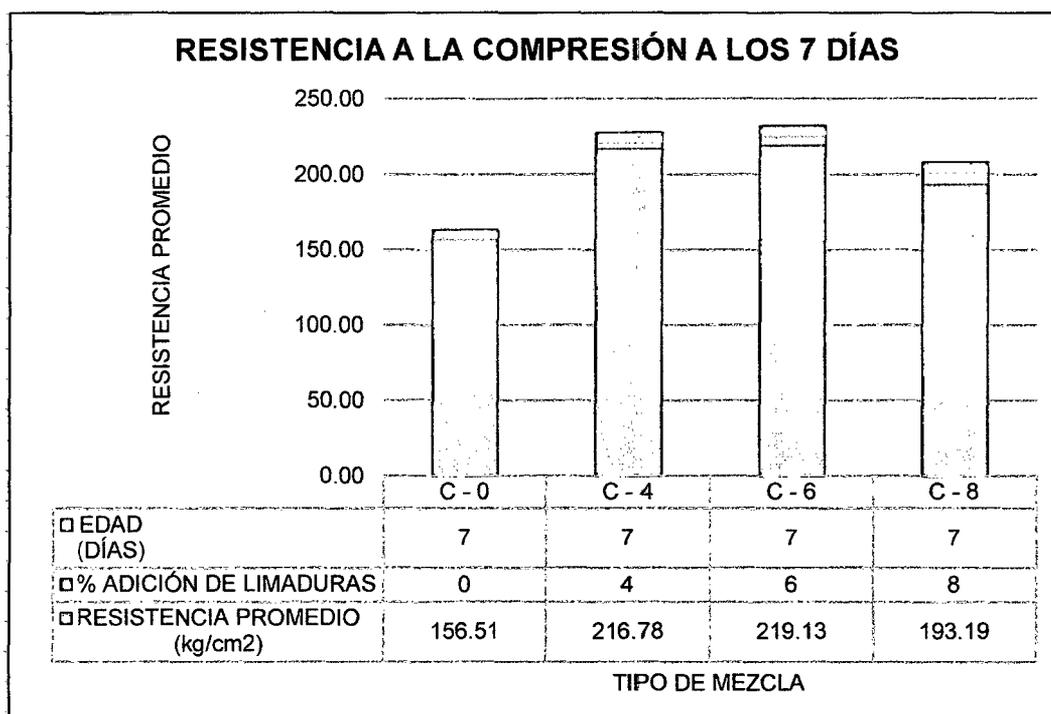


Figura 06. Resistencia a la compresión – 7 días

De los ensayos a compresión realizados a los 7 días de edad se observa que:

- Las variaciones de dimensiones de los especímenes de concreto se encuentran dentro de los rangos permisibles.

- La resistencia a la compresión de los especímenes para todos los diseños de mezcla ha superado el 70% de la resistencia base ($f'_c=210$ kg/cm²).
- Se observa que hay un incremento de la resistencia para los especímenes elaborados con 4%, 6% y 8% de limaduras de hierro fundido, respecto de aquellos que se elaboraron sin adición de dicho material.
- Se evidencia que la resistencia a la compresión va en aumento para los valores de 4% y 6% de adición, sin embargo se puede observar que para el 8% de adición la resistencia promedio disminuye, aunque sigue siendo mayor que la resistencia de los especímenes de control.

4.4.2 Resistencia a la compresión a los 14 días

Se probaron los especímenes cilíndricos de concreto en la edad de 14 días, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 39. Ensayo de compresión C-0, 14 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-0-1	15.10	15.00	15.05	12.896	30.400	29430	177.89	165.43	210.00	78.78	5 - superior
2	C-0-2	15.10	15.10	15.10	12.972	30.400	31380	179.08	175.23	210.00	83.44	5 - superior
3	C-0-3	15.10	15.10	15.10	12.958	30.300	34210	179.08	191.03	210.00	90.97	5 - superior
4	C-0-4	15.10	15.10	15.10	12.840	30.400	28500	179.08	159.15	210.00	75.78	6
5	C-0-5	15.10	15.10	15.10	12.987	30.400	29360	179.08	163.95	210.00	78.07	6
RESISTENCIA PROMEDIO									170.96			
% ADICIÓN DE LIMADURAS: 0%												
CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-0												
EDAD DE LAS PROBETAS: 14 días												
FECHA DE ENSAYO: 30/10/2014												

Tabla 40. Ensayo de compresión C-4, 14 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-4-1	15.30	15.20	15.25	13.146	30.500	49310	182.65	269.96	210.00	128.55	5 - inferior
2	C-4-2	15.10	15.10	15.10	12.908	30.200	48320	179.08	269.83	210.00	128.49	3
3	C-4-3	15.10	15.30	15.20	13.026	30.400	49920	181.46	275.10	210.00	131.00	2
4	C-4-4	15.20	15.20	15.20	13.218	30.400	50140	181.46	276.32	210.00	131.58	2
5	C-4-5	15.30	15.20	15.25	13.092	30.300	51300	182.65	280.86	210.00	133.74	5 - inferior
6	C-4-6	15.30	15.10	15.20	13.028	30.400	51390	181.46	283.21	210.00	134.86	5 - superior
RESISTENCIA PROMEDIO									275.88			
% ADICIÓN DE LIMADURAS: 4%												
CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-4												
EDAD DE LAS PROBETAS: 14 días												
FECHA DE ENSAYO: 30/10/2014 y 31/10/2014												

Tabla 41. Ensayo de compresión C-6, 14 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-6-1	15.30	15.20	15.25	13.134	30.300	45460	182.65	248.89	210.00	118.52	5 - superior
2	C-6-2	15.10	15.10	15.10	13.060	30.300	46590	179.08	260.17	210.00	123.89	5 - superior
3	C-6-3	15.20	15.00	15.10	13.254	30.500	51040	179.08	285.01	210.00	135.72	2
4	C-6-4	15.10	15.30	15.20	13.198	30.300	46620	181.46	256.92	210.00	122.34	3
5	C-6-5	15.20	15.20	15.20	13.036	30.400	45210	181.46	249.15	210.00	118.64	5 - superior
6	C-6-6	15.00	15.20	15.10	13.294	30.300	45480	179.08	253.97	210.00	120.94	5 - superior

RESISTENCIA PROMEDIO

259.02

% ADICIÓN DE LIMADURAS: 6%

CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-6

EDAD DE LAS PROBETAS: 14 días

FECHA DE ENSAYO: 31/10/2014 y 01/11/2014

Tabla 42. Ensayo de compresión C-8, 14 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-8-1	15.30	15.10	15.20	13.254	30.400	41300	181.46	227.60	210.00	108.38	5 - superior
2	C-8-2	15.00	15.20	15.10	13.256	30.300	42520	179.08	237.44	210.00	113.07	6
3	C-8-3	15.20	15.20	15.20	13.288	30.400	42270	181.46	232.95	210.00	110.93	5 - superior
4	C-8-4	15.10	15.20	15.15	13.156	30.500	43800	180.27	242.97	210.00	115.70	6
5	C-8-5	15.00	15.20	15.10	13.230	30.300	43450	179.08	242.63	210.00	115.54	5 - superior
6	C-8-6	15.30	15.30	15.30	13.124	30.400	43830	183.85	238.40	210.00	113.52	6

RESISTENCIA PROMEDIO

237.00

% ADICIÓN DE LIMADURAS: 8%

CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-8

EDAD DE LAS PROBETAS: 14 días

FECHA DE ENSAYO: 01/11/2014

Tabla 43. Resistencia a la compresión – 14 días

CÓDIGO DE MEZCLA	% ADICIÓN DE LIMADURAS	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA
C - 0	0	23/10/2014	14	170.96	210.00	81.41
C - 4	4	23/10/2014	14	275.88	210.00	131.37
C - 6	6	24/10/2014	14	259.02	210.00	123.34
C - 8	8	25/10/2014	14	237.00	210.00	112.86

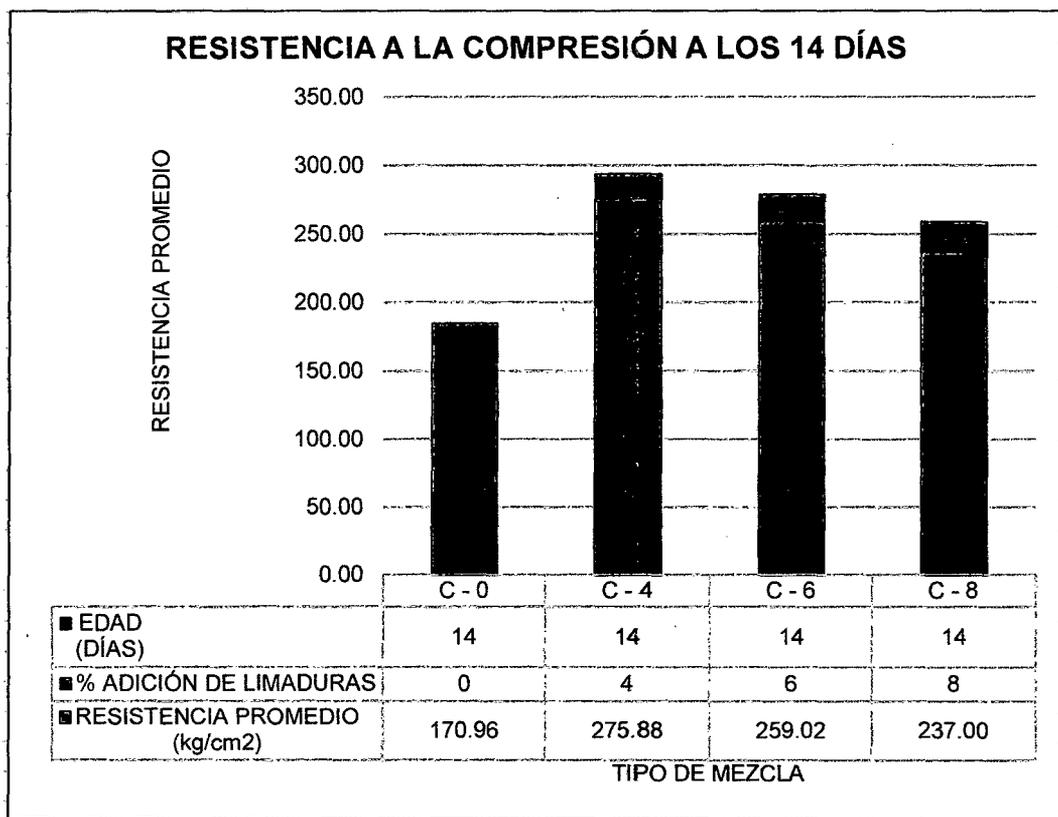


Figura 07. Resistencia a la compresión – 14 días

De los ensayos a compresión realizados a los 14 días de edad se observa que:

- Las variaciones de dimensiones de los especímenes de concreto se encuentran dentro de los rangos permisibles.

- La resistencia a la compresión de los especímenes para todos los diseños de mezcla ha superado el 80% de la resistencia base ($f_c=210$ kg/cm²).
- Se observa que hay un incremento de la resistencia para los especímenes elaborados con 4%, 6% y 8% de limaduras de hierro fundido, respecto de aquellos que se elaboraron sin adición de dicho material.
- Se evidencia que la resistencia a la compresión alcanza un aumento máximo para el valor de 4% de adición, sin embargo para el 6% y 8% de adición la resistencia promedio disminuye, aunque sigue siendo mayor que la resistencia de los especímenes de control.
- Por tanto se concluye que la adición de 6% de limaduras de hierro fundido generó una mayor resistencia inicial (7 días) que los demás porcentajes, sin embargo a los 14 días no sigue la misma tendencia, puesto que la resistencia promedio es menor a la que se registra con la adición del 4% de limaduras.

4.4.3 Resistencia a la compresión a los 28 días

Se probaron los especímenes cilíndricos de concreto en la edad de 28 días, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 44. Ensayo de compresión C-0, 28 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-0-1	15.10	15.10	15.10	12.892	30.400	46030	179.08	257.04	210.00	122.40	5 - superior
2	C-0-2	15.10	15.10	15.10	12.942	30.400	47590	179.08	265.75	210.00	126.55	5 - inferior
3	C-0-3	15.00	15.00	15.00	12.935	30.400	49460	176.71	279.89	210.00	133.28	5 - superior
4	C-0-4	15.10	15.10	15.10	13.003	30.400	44990	179.08	251.23	210.00	119.63	5 - superior
5	C-0-5	15.10	15.20	15.15	12.924	30.400	47660	180.27	264.39	210.00	125.90	5 - inferior
RESISTENCIA PROMEDIO									263.66			
% ADICIÓN DE LIMADURAS: 0%												
CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-0												
EDAD DE LAS PROBETAS: 28 días												
FECHA DE ENSAYO: 14/11/2014												

Tabla 45. Ensayo de compresión C-4, 28 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-4-1	15.30	15.30	15.30	13.131	30.300	59830	183.85	325.42	210.00	154.96	5 - inferior
2	C-4-2	15.10	15.30	15.20	13.161	30.200	58360	181.46	321.62	210.00	153.15	2
3	C-4-3	15.10	15.30	15.20	13.200	30.300	59680	181.46	328.89	210.00	156.61	1
4	C-4-4	15.30	15.20	15.25	13.360	30.300	61310	182.65	335.66	210.00	159.84	4
5	C-4-5	15.30	15.00	15.15	13.192	30.400	59640	180.27	330.84	210.00	157.54	2
6	C-4-6	15.30	15.30	15.30	13.105	30.300	63930	183.85	347.72	210.00	165.58	2
RESISTENCIA PROMEDIO									331.69			
% ADICIÓN DE LIMADURAS: 4%												
CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-4												
EDAD DE LAS PROBETAS: 28 días												
FECHA DE ENSAYO: 14/11/2014												

Tabla 46. Ensayo de compresión C-6, 28 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-6-1	15.30	15.10	15.20	13.185	30.50	56270	181.46	310.10	210.00	147.67	1
2	C-6-2	15.10	15.30	15.20	13.294	30.50	54250	181.46	298.97	210.00	142.37	5 - superior
3	C-6-3	15.30	15.30	15.30	13.290	30.50	52560	183.85	285.88	210.00	136.13	5 - inferior
4	C-6-4	15.20	15.30	15.25	13.330	30.30	51280	182.65	280.75	210.00	133.69	5 - superior
5	C-6-5	15.30	15.10	15.20	13.222	30.40	50670	181.46	279.24	210.00	132.97	5 - superior
RESISTENCIA PROMEDIO									299.54			
% ADICIÓN DE LIMADURAS: 6% CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-6 EDAD DE LAS PROBETAS: 28 días FECHA DE ENSAYO: 15/11/2014												

Tabla 47. Ensayo de compresión C-8, 28 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-8-1	15.20	15.10	15.15	13.286	30.40	50040	180.27	277.59	210.00	132.19	2
2	C-8-2	15.00	15.20	15.10	13.401	30.40	51730	179.08	288.87	210.00	137.56	4
3	C-8-3	15.10	15.30	15.20	13.199	30.30	50550	181.46	278.58	210.00	132.66	5 - superior
4	C-8-4	15.20	15.30	15.25	13.272	30.50	56270	182.65	308.07	210.00	146.70	4
5	C-8-5	15.10	15.20	15.15	13.204	30.50	52440	180.27	290.90	210.00	138.53	5 - superior
6	C-8-6	15.30	15.10	15.20	13.235	30.30	51560	181.46	284.14	210.00	135.31	5 - superior
RESISTENCIA PROMEDIO									288.02			
% ADICIÓN DE LIMADURAS: 8% CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-8 EDAD DE LAS PROBETAS: 14 días FECHA DE ENSAYO: 16/11/2014												

Tabla 48. Resistencia a la compresión – 28 días

CÓDIGO DE MEZCLA	% ADICIÓN DE LIMADURAS	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA
C - 0	0	14/11/2014	28	263.66	210.00	125.55
C - 4	4	14/11/2014	28	331.69	210.00	157.95
C - 6	6	15/11/2014	28	290.99	210.00	138.56
C - 8	8	16/11/2014	28	288.02	210.00	137.15

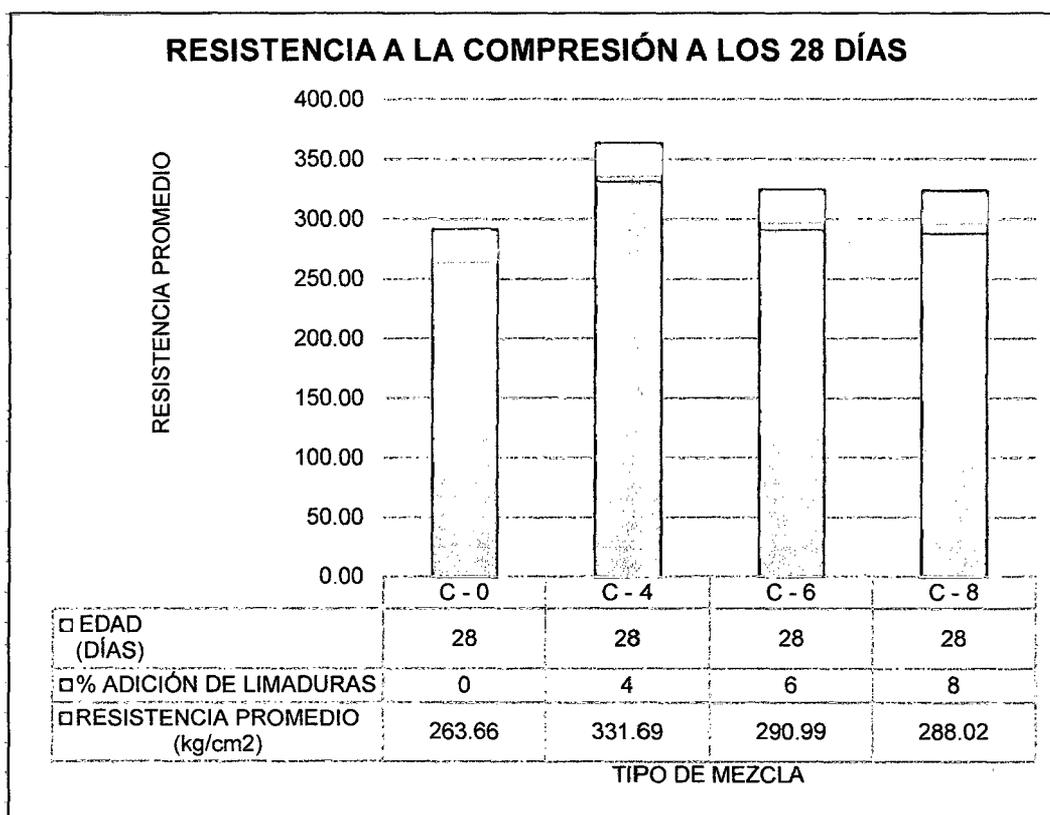


Figura 08. Resistencia a la compresión – 28 días

De los ensayos a compresión realizados a los 28 días de edad se observa que:

- Las variaciones de dimensiones de los especímenes de concreto se encuentran dentro de los rangos permisibles.

- La resistencia a la compresión de los especímenes para todos los diseños de mezcla ha superado el 100% de la resistencia base ($f'_c=210$ kg/cm²).
- Se observa que hay un incremento de la resistencia para los especímenes elaborados con 4%, 6% y 8% de limaduras de hierro fundido, respecto de aquellos que se elaboraron sin adición de dicho material.
- Se evidencia que la resistencia a la compresión alcanza un aumento máximo para el valor de 4% de adición, al igual que en los ensayos realizados a los 14 días de edad, llegando a aumentar la resistencia en el orden de un 58% respecto a la resistencia base de diseño, se observa que para el 6% y 8% de adición la resistencia promedio disminuye, aunque sigue siendo mayor que la resistencia de los especímenes de control.
- Por tanto se concluye que la adición de 4% de limaduras de hierro fundido genera la mayor resistencia a los 28 días de edad del concreto.

4.4.4 Resistencia a la compresión a los 28 días, diseños adicionales

Se probaron los 9 especímenes cilíndricos de concreto en la edad de 28 días, que se fabricaron con porcentajes mayores (10%, 20% y 30%) a los propuestos en la investigación a modo de comprobación:

Tabla 49. Ensayo de compresión C-10, 28 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-10-1	15.10	15.10	15.30	14.204	30.500	52570	183.85	285.93	210.00	136.16	5 - superior
2	C-10-2	15.10	15.10	15.20	14.146	30.500	50270	181.46	277.03	210.00	131.92	4
3	C-10-3	15.00	15.10	15.30	14.119	30.400	49100	183.85	267.06	210.00	127.17	5 - superior
RESISTENCIA PROMEDIO									276.68			
% ADICIÓN DE LIMADURAS: 10%												
CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-10												
EDAD DE LAS PROBETAS: 28 días												
FECHA DE ENSAYO: 16/11/2014												

Tabla 50. Ensayo de compresión C-20, 28 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-20-1	15.30	15.20	15.25	13.863	30.400	53720	182.65	294.11	210.00	140.05	5 - superior
2	C-20-2	15.00	15.20	15.10	13.873	30.400	51750	179.08	288.98	210.00	137.61	5 - superior
3	C-20-3	15.20	15.20	15.20	13.159	30.400	50360	181.46	277.53	210.00	32.16	1
RESISTENCIA PROMEDIO									286.87			
% ADICIÓN DE LIMADURAS: 20%												
CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-20												
EDAD DE LAS PROBETAS: 28 días												
FECHA DE ENSAYO: 16/11/2014												

Tabla 51. Ensayo de compresión C-30, 28 días

PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø PROMEDIO (cm)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA DE PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA REAL (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA	TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034)
1	C-30-1	15.30	15.30	15.30	13.681	30.50	53640	183.85	291.75	210.00	138.93	5 - superior
2	C-30-2	15.10	15.10	15.10	13.485	30.40	50510	179.08	282.05	210.00	134.31	5 - superior
3	C-30-3	15.20	15.20	15.20	13.593	30.50	50340	181.46	277.42	210.00	132.10	5 - inferior
RESISTENCIA PROMEDIO									283.74			

% ADICIÓN DE LIMADURAS: 30%

CÓDIGO DE LA MUESTRA: C-30

EDAD DE LAS PROBETAS: 28 días

FECHA DE ENSAYO: 15/11/2014

Tabla 52. Resistencia a la compresión probetas adicionales – 28 días

CÓDIGO DE MEZCLA	% ADICIÓN DE LIMADURAS	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	RESISTENCIA BASE (kg/cm ²)	% RESISTENCIA ADQUIRIDA
C - 10	10	16/11/2014	28	276.68	210.00	131.75
C - 20	20	16/11/2014	28	286.87	210.00	136.61
C - 30	30	16/11/2014	28	283.74	210.00	135.12

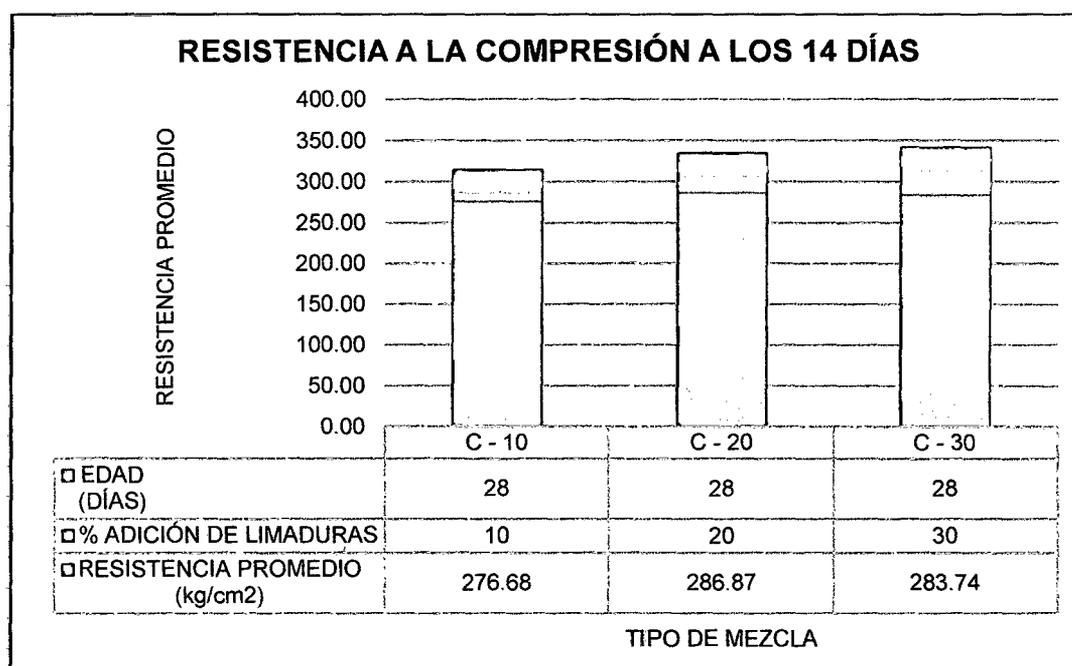


Figura 09. Resistencia a la compresión probetas adicionales – 28 días

De los ensayos a compresión realizados a los 28 días de edad se observa que:

- Las variaciones de dimensiones de los especímenes de concreto se encuentran dentro de los rangos permisibles.
- La resistencia a la compresión de los especímenes diseñados con 10%, 20% y 30% de adición de limaduras de hierro, han superado el 100% de la resistencia base ($f_c=210 \text{ kg/cm}^2$).
- Se observa que el incremento de la resistencia a la compresión para 10%, 20% y 30% de adición de limaduras es cercana a la resistencia generada con el 8% de adición, por lo que se puede concluir que la resistencia del concreto con grandes cantidades de adición de limaduras no aumenta significativamente, por el contrario tiende a disminuir.

4.4.5 Evolución de la resistencia a la compresión de las probetas

Tabla 53. Resistencia a la compresión C-0

PROBETA N°	CÓDIGO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN C-0 (kg/cm ²)		
		7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
1	C-0-1	147.30	165.43	257.04
2	C-0-2	178.71	175.23	265.75
3	C-0-3	170.93	191.03	279.89
4	C-0-4	142.32	159.15	251.23
5	C-0-5	143.29	163.95	264.39
PROMEDIO:		156.51	170.96	263.66
MÍNIMO:		142.32	159.15	251.23
MÁXIMO:		178.71	191.03	279.89
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:			10.80	

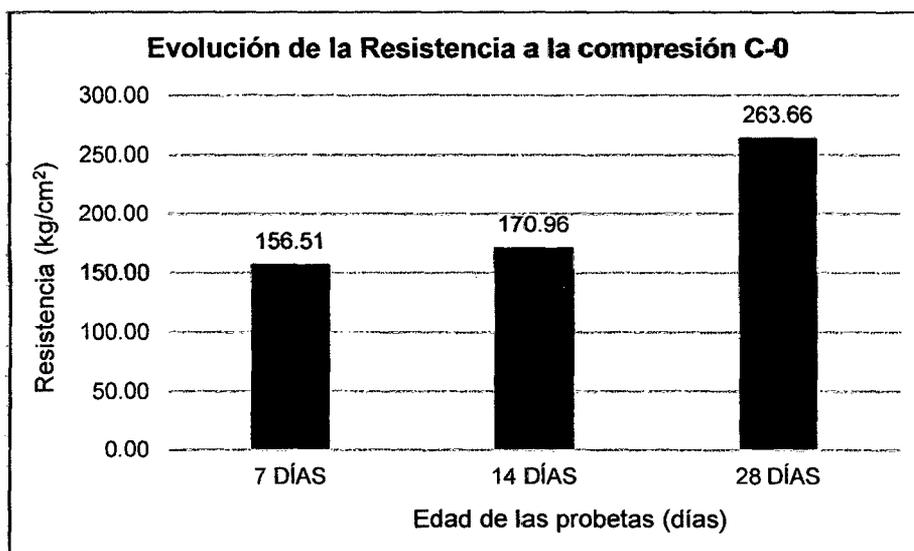


Figura 10. Evolución de la resistencia a la compresión C-0

Tabla 54. Resistencia a la compresión C-4

PROBETAN°	CÓDIGO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN C-4 (kg/cm ²)		
		7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
1	C-0-1	217.57	269.96	325.42
2	C-0-2	225.89	269.83	321.62
3	C-0-3	214.57	275.10	328.89
4	C-0-4	226.05	276.32	335.66
5	C-0-5	199.83	280.86	330.84
6	C-0-6	-	283.21	347.72
PROMEDIO:		216.78	275.88	331.69
MÍNIMO:		199.83	269.83	321.62
MÁXIMO:		226.05	283.21	347.72
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:				9.19

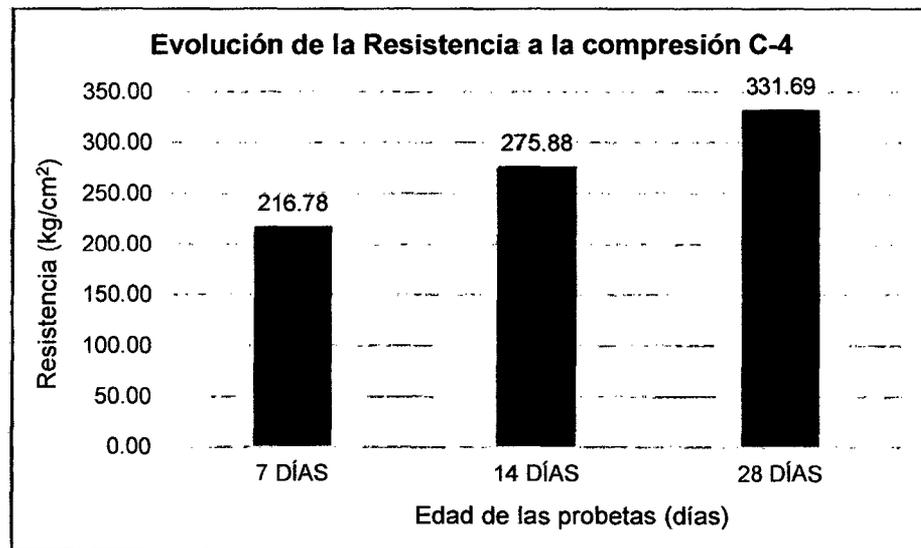


Figura 11. Evolución de la resistencia a la compresión C-4

Tabla 55. Resistencia a la compresión C-6

PROBETA N°	CÓDIGO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN C-6 (kg/cm ²)		
		7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
1	C-0-1	228.06	248.89	310.10
2	C-0-2	214.15	260.17	298.97
3	C-0-3	217.29	285.01	285.88
4	C-0-4	220.67	256.92	280.75
5	C-0-5	215.48	249.15	279.24
6	C-0-6	-	253.97	-
PROMEDIO:		219.13	259.02	290.99
MÍNIMO:		214.15	248.89	279.24
MÁXIMO:		228.06	285.01	310.10
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:				13.21

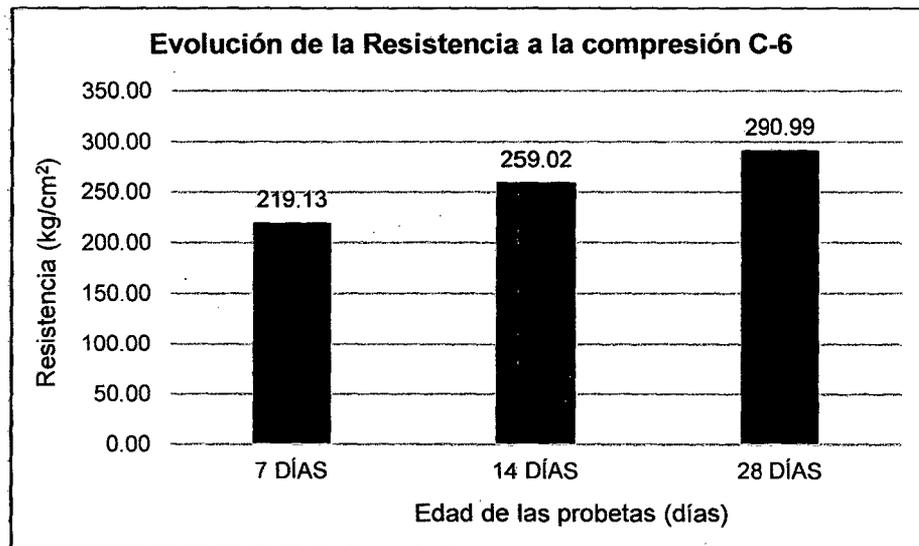


Figura 12. Evolución de la resistencia a la compresión C-6

Tabla 56. Resistencia a la compresión C-8

PROBETA N°	CÓDIGO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN C-8 (kg/cm ²)		
		7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
1	C-0-1	182.54	227.60	277.59
2	C-0-2	182.48	237.44	288.87
3	C-0-3	216.26	232.95	278.58
4	C-0-4	188.63	242.97	308.07
5	C-0-5	196.05	242.63	290.90
6	C-0-6	-	238.40	284.14
PROMEDIO:		193.19	237.00	288.02
MÍNIMO:		182.48	227.60	277.59
MÁXIMO:		216.26	242.97	308.07
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:				11.17

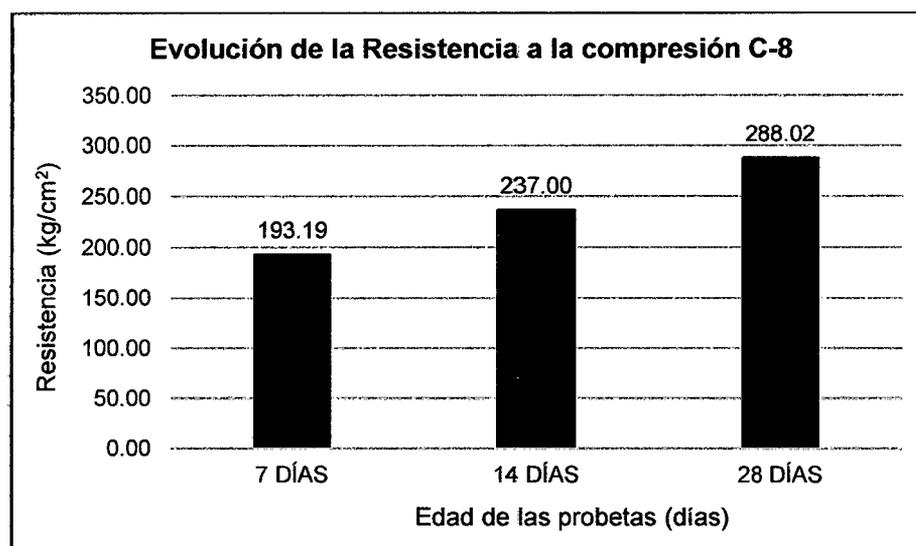


Figura 13. Evolución de la resistencia a la compresión C-8

4.4.6 Resumen de los ensayos a compresión

Tabla 57. Resistencia a la compresión promedio de las probetas

ADICIÓN DE LIMADURAS (%)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO (kg/cm ²)		
	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
0	156.51	170.96	263.66
4	216.78	275.88	331.69
6	219.13	259.02	290.99
8	193.19	237.00	288.02

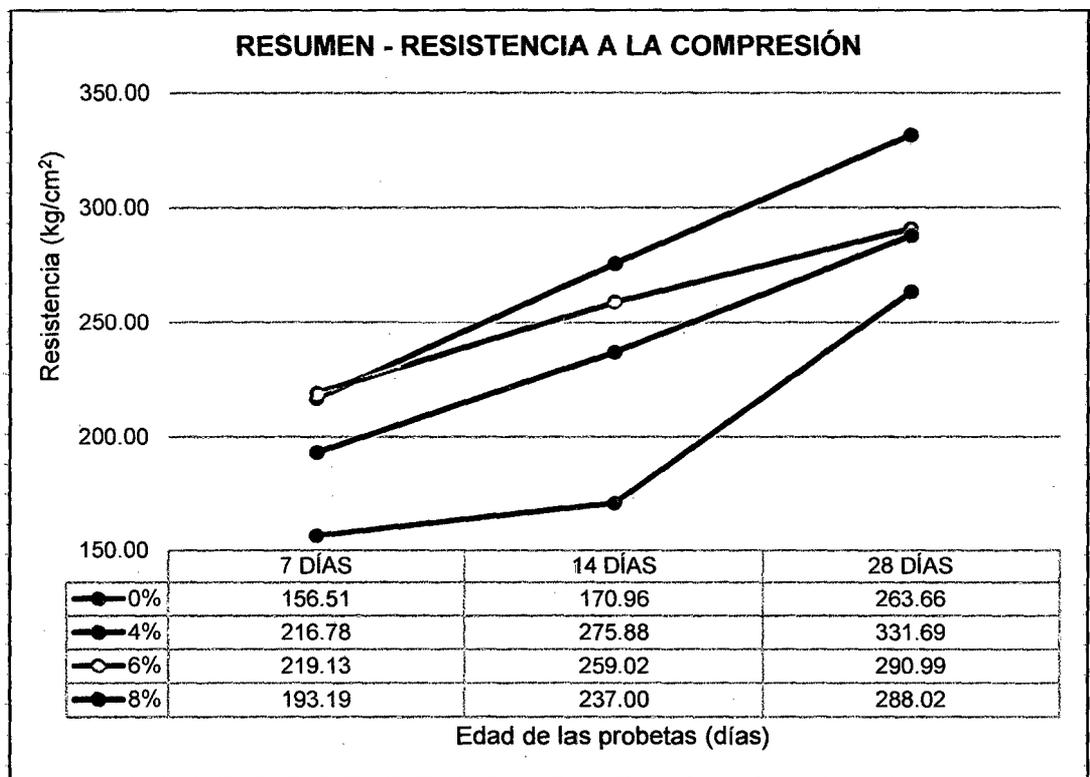


Figura 14. Resumen – Resistencia a la compresión

4.4.7 Comparación con otras investigaciones

Se comparan los resultados obtenidos en la presente investigación con los resultados obtenidos en los trabajos de referencia citados:

Tabla 58. Comparación de resultados con Tesis citada, 4% de adición de limaduras de hierro fundido

INVESTIGACIONES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO A LOS 28 DÍAS DE EDAD (kg/cm ²)				
	f _c DE DISEÑO (kg/cm ²)	ADICIÓN DE LIMADURAS DE HIERRO FUNDIDO		% INCREMENTO RESPECTO AL f _c DE DISEÑO	% INCREMENTO RESPECTO AL C° PATRÓN
		0% (PATRÓN)	4%		
TESIS CITADA: REYES Y RODRÍGUEZ (2010)	210	221.70	304.70	45%	37%
TESIS ACTUAL	210	263.66	331.69	58%	26%

De la comparación de resultados con el trabajo de Reyes, J. y Rodríguez, Y. (2010), se observa que:

- En la presente investigación y en la investigación citada el mayor incremento de la resistencia a la compresión se produjo con la adición del 4% de limaduras de hierro fundido en peso del agregado fino.
- En la presente investigación la resistencia a la compresión del concreto patrón o control es mayor al f_c de diseño, debido a que en el proceso de diseño se consideró un incremento del f_c en un 20% como factor de seguridad (f_{cr}=252 kg/cm²), sin embargo en la investigación citada no se ha tomado en cuenta ningún factor de seguridad.
- En la presente investigación se logró un mayor incremento de la resistencia a la compresión en comparación con el resultado obtenido en la tesis citada.

Tabla 59. Comparación de resultados con Tesis citada, 6% de adición de limaduras de hierro fundido

INVESTIGACIONES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO A LOS 28 DÍAS DE EDAD (kg/cm ²)				
	f _c DE DISEÑO (kg/cm ²)	ADICIÓN DE LIMADURAS DE HIERRO FUNDIDO		% INCREMENTO RESPECTO AL f _c DE DISEÑO	% INCREMENTO RESPECTO AL C° PATRÓN
		0% (PATRÓN)	6%		
TESIS CITADA: PARRA Y BAUTISTA (2010)	210	172.14	306.74	46%	78%
TESIS ACTUAL	210	263.66	290.99	39%	10%

De la comparación de resultados con el trabajo de Parra, K. y Bautista, M. (2010), se observa que:

- A diferencia de la presente investigación, en la Tesis citada el mayor incremento de la resistencia a la compresión se obtuvo con la adición del 6% de limaduras de hierro fundido, sin embargo la resistencia promedio es menor que la resistencia conseguida en la presente tesis con el 4% de limaduras.
- Se observa que en la investigación citada, el concreto patrón o control no alcanzó la resistencia de diseño.
- En la presente investigación la resistencia a la compresión del concreto patrón o control es mayor al f_c de diseño, debido a que en el proceso de diseño se consideró un incremento del f_c en un 20% como factor de seguridad (f_{cr}=252 kg/cm²), sin embargo en la investigación citada no se ha tomado en cuenta ningún factor de seguridad.

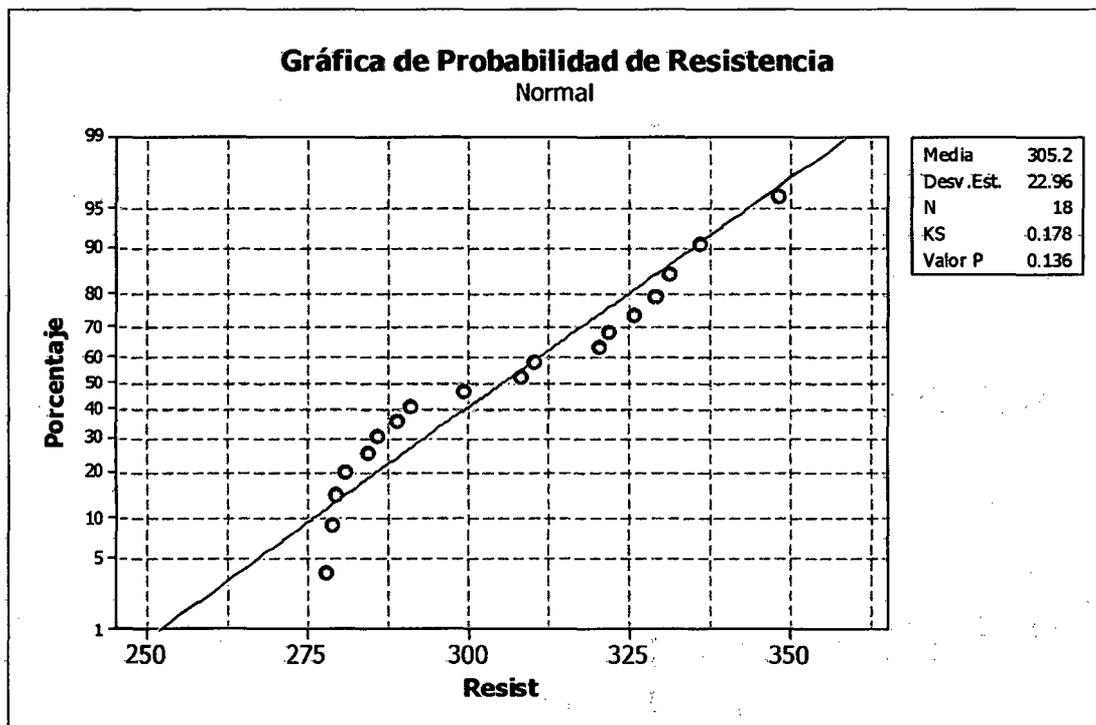
4.5 Contratación de Hipótesis

4.5.1 Prueba para estudio comparativo

- 18 probetas
- 3 tratamientos
- $n=6$
- Comparativo:
 - a) H_0 : La adición de limadura de hierro fundido NO incrementa la resistencia del concreto kg/cm^2 .
 H_1 : La adición de limadura de hierro fundido incrementa la resistencia del concreto kg/cm^2 .
 - a.1) $H_0: U_1=U_2=U_3$
 H_1 : Al menos un U_i es \neq
 $i = 1,2,3$
 - b) $\alpha = 5\%$
 - c) Muestra aleatoria con distribución normal, varianzas iguales.

- Prueba de Normalidad (Smirnov – Kolmogorov)

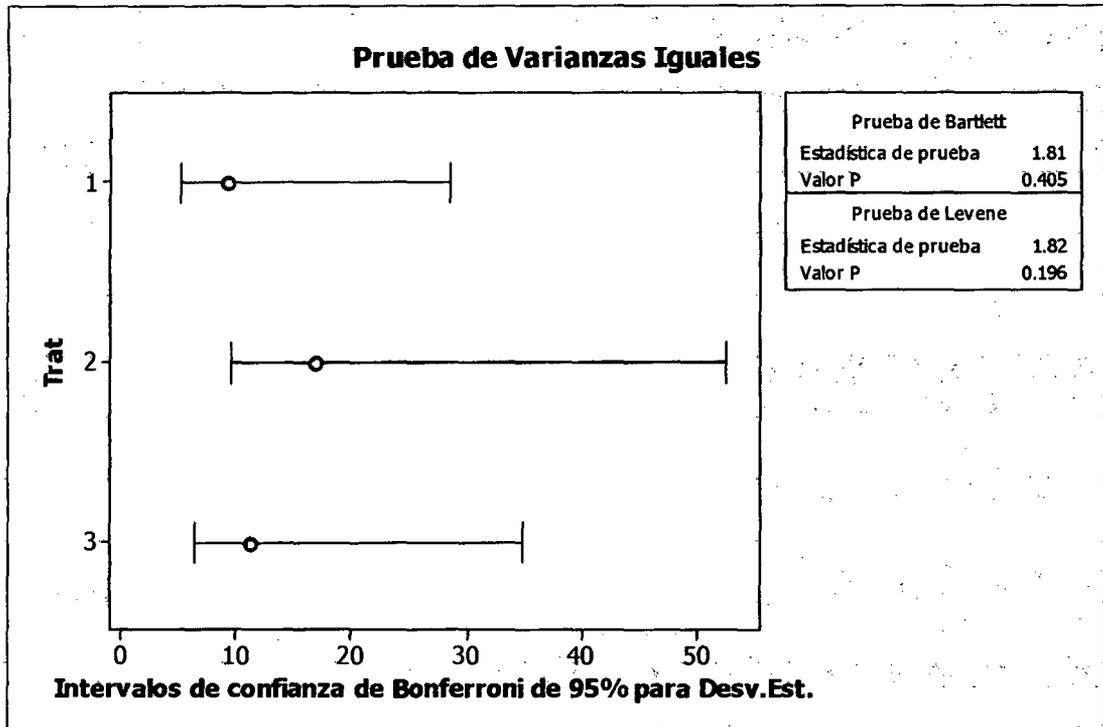
Figura N° 15. Prueba de Normalidad



La mayoría de puntos (95%) se aproximan a la recta por lo tanto los datos proviene de una distribución normal.

- Prueba de Varianzas iguales

Figura N° 16. Prueba de Varianzas Iguales



Se observa que existe una recta vertical que corta a los tres segmentos, por lo cual decimos que las varianzas son iguales.

- Prueba de P-valor mediante ANOVA unidireccional (un solo factor)

ANOVA unidireccional: Resistencia vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Trat	2	6503	3251	19.81	0.000
Error	15	2462	164		
Total	17	8964			

S = 12.81 R-cuad. = 72.54% R-cuad. (ajustado) = 68.88%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.
1	6	331.69	9.19
2	6	295.88	16.83
3	6	288.02	11.17

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----) (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 280 300 320 340

Desv.Est. agrupada = 12.81

P-valor = 0

→ $0 < \alpha = 0.05$

Por lo tanto se rechaza la Hipótesis H_0 .

4.5.2 Prueba relación causal

- 18 probetas
- 3 tratamientos
- $n=6$

X = Cantidad de limaduras de hierro

Y = Resistencia

- Hipótesis de investigación:

H_i : La resistencia a la compresión del concreto se incrementa entre el 30% al 50% conforme aumenta el porcentaje de adición de limaduras de hierro fundido.

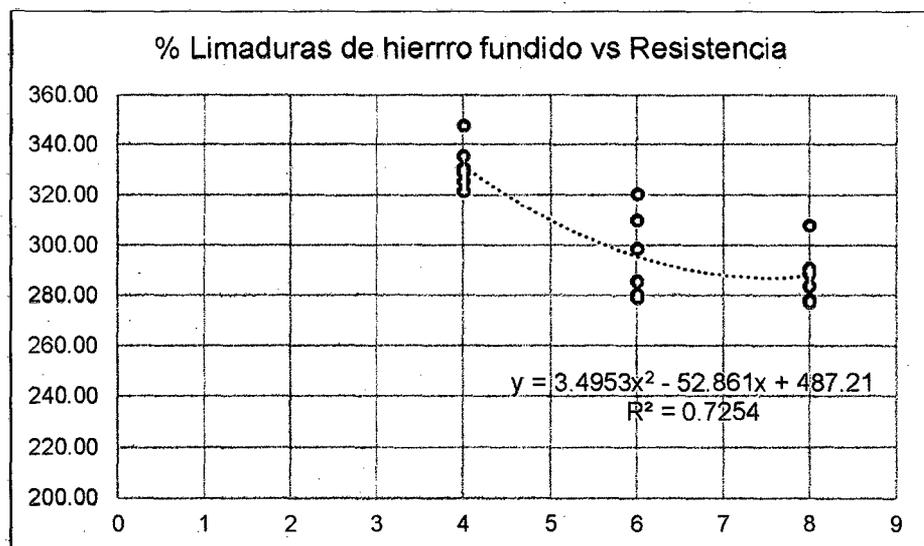
H_0 : Se modifica el aditivo, no cambia la resistencia.

H_1 : Se modifica aditivo, aumenta la resistencia.

- Hipótesis estadística:

Existe una ecuación de regresión $Y = f(X) + E$

Figura N° 17. % Limaduras de hierro fundido vs Resistencia



Se observa que:

$R^2 =$ Coeficiente de correlación

$R^2 \rightarrow 1$

$R^2 = 72\%$

- **Análisis de regresión**

La ecuación de regresión es
Resist = 339 - 0.869 LHFcuad

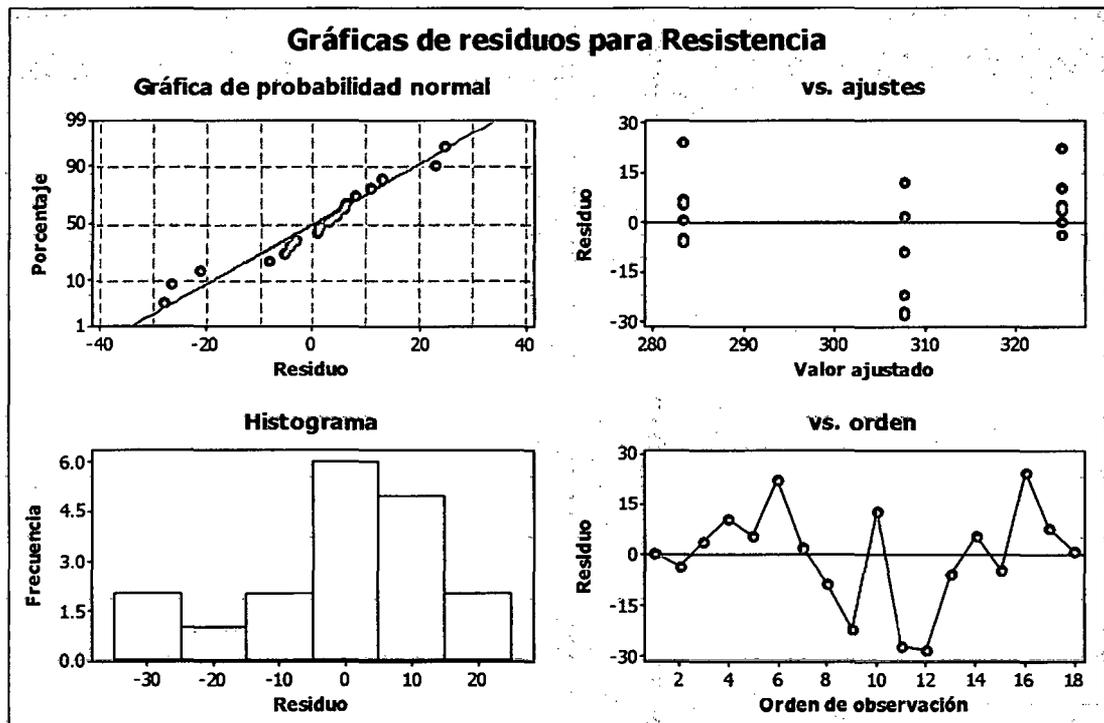
Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	338.813	7.892	42.93	0.000
LHFcuad	-0.8693	0.1819	-4.78	0.000

s = 15.1908 R-cuad. = 58.8% R-cuad. (ajustado) = 56.2%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	5272.2	5272.2	22.85	0.000
Error residual	16	3692.2	230.8		
Total	17	8964.3			

Figura N° 18. Gráficas de residuos para resistencia



- **Confiabilidad**

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$$

$$Y = 487.21 - 52.861X + 3.4953X^2$$

a) $H_0: \beta_0 = 0$

$H_1: \beta_0 \neq 0$

$\alpha = 0.05$

$P\text{-valor} = 0 < 0.05$

b) $H_0: \beta_1 = 0$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

$P < \alpha$

c) $H_0: \beta_2 = 0$

$H_1: \beta_2 \neq 0$

$P < \alpha$

→ **Se rechaza la Hipótesis H_0 .**

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.1 Conclusiones

Al término de la investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se determinó la variación de la resistencia a la compresión del concreto al añadir tres porcentajes (4%, 6% y 8%) de limaduras de hierro fundido, la cual alcanza su máximo incremento con la adición del 4% de limaduras, y disminuye de manera uniforme para los valores del 6% y 8% respectivamente, siendo siempre mayor a la resistencia alcanzada por el concreto patrón (sin limaduras).
- La resistencia máxima del concreto se logró con **4% de adición de limaduras de hierro fundido** en reemplazo del agregado fino, alcanzando una resistencia promedio de **331.69 kg/cm²**, lo cual equivale a un incremento del **58%** respecto al f'_c , **32%** respecto del f'_{cr} y **26%** respecto a la resistencia promedio final de las muestras control.
- La adición de limaduras del 6% generó el mayor incremento de la resistencia a edades tempranas (7días), lo cual no se repitió en los ensayos realizados a los 14 y 28 días de edad, en los cuales la resistencia comenzó a disminuir respecto de las probetas con 4% de adición de limaduras.
- Todos los diseños de mezcla (con adición y sin adición de limaduras de hierro fundido), superan la resistencia de diseño ($f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) y la resistencia promedio ($f'_{cr} = 252 \text{ kg/cm}^2$) a los 28 días de edad.
- Las probetas adicionales que se fabricaron con mayores porcentajes de adición de limaduras (10%, 20% y 30%), sirvieron para demostrar que el incremento de la resistencia ya no es muy significativo, puesto que los valores hallados son muy cercanos a los obtenidos con el 8% de adición de limaduras.
- Se concluye que el desecho industrial empleado en la investigación, limaduras de hierro fundido, incrementa considerablemente la resistencia del concreto; sin embargo el aumento de la resistencia no es proporcional al incremento de limaduras.

- La adición de limaduras de hierro fundido a la mezcla de concreto no afectó su trabajabilidad, de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de asentamiento (Slump).
- Durante los ensayos de compresión se pudo apreciar que para las probetas con adición de limaduras de hierro fundido evitaba que éstas tuviesen una falla frágil y explosiva, dándole mayor ductilidad a los especímenes.
- Además según los antecedentes revisados, los concretos con adiciones de virutas o limaduras de acero y hierro, se pueden utilizar en la construcción de edificaciones donde se trabaja con radiación, puesto que la adición de estos materiales mejora la absorción de dicha radiación.

1.2 Recomendaciones

- Se recomienda emplear mascarilla al momento de manipular las limaduras de hierro fundido, puesto que contiene partículas muy finas y volátiles.
- Se recomienda lavar los agregados para obtener los resultados óptimos de diseño.
- Se recomienda humedecer las paredes de la herramienta o equipo donde se prepara la mezcla de concreto (carretilla o mezcladora), para evitar pérdida de agua de diseño.
- Se recomienda tener especial cuidado de que se haya mezclado uniformemente las limaduras con el resto de componentes del concreto, puesto que tienden a formar grumos.
- Para futuras investigaciones se recomienda estudiar otras propiedades del concreto con adición de limaduras de hierro fundido, como la resistencia a la tracción, durabilidad, etc.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

Alwaeli, M; Nadziakiewicz, J. 2011. Recycling of scale and steel chips waste as a partial replacement of sand in concrete. *Construction and Building Materials* 28(2012): 157–163.

American Concrete Institute. ACI 318-08. *Building Code Requirements for Structural Concrete*. U.S.A. 2011. 465 p.

American Concrete Institute. ACI 318-11. *Building Code Requirements for Structural Concrete*. U.S.A. 2011. 503 p.

American Society for Testing Materials. ASTM C-29. *Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate*. U.S.A.1997. 05 p.

American Society for Testing Materials. ASTM C-33. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. U.S.A.1986. 11 p.

American Society for Testing Materials. ASTM C-70. *Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate*. U.S.A.2001. 11 p.

American Society for Testing Materials. ASTM C-117. *Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. U.S.A. 2013. 03 p.

American Society for Testing Materials. ASTM C-127. *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*. U.S.A. 2012. 06 p.

American Society for Testing Materials. ASTM C-128. *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*. U.S.A. 2012. 06 p.

American Society for Testing Materials. ASTM C-131. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. U.S.A. 2001. 04 p.

American Society for Testing Materials. ASTM C-136. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. U.S.A.1993. 05 p.

American Society for Testing Materials. ASTM C-150. Standard Specifications and Tests for Portland Cement. U.S.A.1986. 44 p.

Carrillo, J; Aperador, W; González, G. 2013. Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero. Ingeniería Investigación y Tecnología. 14(3): 435-450.

Cendoya, P. 2009. Efecto en la resistencia de las escorias de fundición de cobre como agregado fino en el comportamiento resistente del hormigón. Ingeniare Revista chilena de ingeniería. 17(1): 85-94.

Congreso Internacional de la construcción y EXPOCON (II, 2004, Perú). 2004. Naturaleza y materiales del concreto. Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG). Lima, Perú. 390 p.

Corcino, V. 2007. Estudio comparativo de concreto simple y reforzado con fibras de acero dramix y wirand, empleando cemento Andino tipo V. Tesis Bach. Ing. Civil. Lima, Perú. Universidad Ricardo Palma. 26 p.

García, A. 2008. Mejoramiento del concreto con adición de viruta de acero a porcentajes de 12 y 14% respecto al agregado fino de la mezcla. Tesis Bach. Ing. Civil. Bucaramanga, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 72 p.

García, H; Sarmiento, J. 2008. Mejoramiento de un concreto de 3000 psi con adición de viruta de acero con porcentajes de 6%, 8% y 10% respecto al agregado fino de la mezcla. Tesis Bach. Ing. Civil. Bucaramanga, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 68 p.

Gomezjurado, J. 1997. Colección básica del concreto 1, tecnología y propiedades. 2° Edición. Bogotá, Instituto del Concreto. 215 p.

International Conference on Advances in Engineering (2011 Ma'anshan, China). 2011. Possibility of concrete prepared with steel slag as fine and coarse aggregates: a preliminary study. Eds. Liu, C; Zha, K; Chen, D. Ma'anshan, China. Elsevier Ltd. Disponible en <http://www.sciencedirect.com>

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 334.002. CEMENTOS. Determinación de la finura del cemento portland expresada por la superficie específica (aparato de permeabilidad al aire). Perú. 2013. 25 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 334.004. CEMENTOS. Ensayo en autoclave para determinar la estabilidad de volumen. Perú. 2008. 08 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 334.005. CEMENTOS. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Portland. Perú. 2011. 07 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 334.009. CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos. Perú. 2013. 24 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 334.045. CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la finura por tamizado húmedo con tamiz normalizado de 45 μm (N° 325). Perú. 2010. 07 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 334.051. CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado. Perú. 2013. 30 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 334.052. CEMENTOS. Método de ensayo para determinar el falso fraguado del cemento. Método de la pasta. Perú. 2008. 09 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 334.064. CEMENTOS. Método para determinar el calor de hidratación de cementos Portland. Método por disolución. Perú. 2009. 19 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 339.034. HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. Perú. 2008. 18 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 339.035. HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. Perú. 2009. 09 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 339.088. HORMIGÓN (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. Perú. 2006. 13 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 400.011. AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). Perú. 2013. 12 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 400.012. AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Perú. 2013. 15 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 400.017. AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. Perú. 2011. 14 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 400.018. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (200) por lavado en agregados. Perú. 2013. 10 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 400.019. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles. Perú. 2002. 09 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 400.021. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Perú. 2013. 17 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 400.022. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Perú. 2013. 20 p.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana. NTP 400.037. AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto). Perú. 2013. 14 p.

Laura, S. 2006. Diseño de mezclas de concreto. Perú, Universidad Nacional del Altiplano. 37 p.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Norma Técnica de Edificación. E.060 Concreto Armado. Perú. 2009. 193 p.

Neville, A; Brooks, J. 1998. Tecnología del concreto. 1° Edición. México, Trillas. 329 p.

Parra, K; Bautista, M. 2010. Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos industriales y escombros. Tesis Bach. Ing. Civil. Bucaramanga, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 102 p.

Pasquel, E. 1998. Tópicos de tecnología del concreto en el Perú. 2° Edición. Perú. 380 p.

Qasrawi, H. 2013. The use of steel slag aggregate to enhance the mechanical properties of recycled aggregate concrete and retain the environment. *Construction and Building Materials* 54(2014): 298–304.

Reyes, J; Rodríguez, Y. 2010. Análisis de la resistencia a la compresión del concreto al adicionar limalla fina en un 3%, 4% y 5% respecto al peso de la mezcla. Tesis Bach. Ing. Civil. Bucaramanga, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 146 p.

Rivera, G. 1992. Concreto Simple. 1° edición. Colombia, Editorial Universidad del Cauca. 267 p.

Rivva, E. 2013. Tecnología del concreto: diseño de mezclas. 2° edición. Lima, Perú. 292 p.

Sánchez, D. 2001. Tecnología del concreto y del mortero. 5° edición. Colombia, Bhandar Editores LTDA. 341 p.

Suarez, A; Vargas, A. 2008. Análisis, observación y comportamiento estadístico en función del tiempo de una mezcla de concreto de 3000 psi con adición de viruta de acero en porcentajes de 9%, 10% y 11% respecto al agregado fino. Tesis Bach. Ing. Civil. Bucaramanga, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 103 p.

Torres, J. 2013. Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto con aditivo Sika Rapid 1. Tesis Bach. Ing. Civil. Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 131 p.

ANEXOS

ANEXO I. Diseño de mezcla

- Características de los agregados

Tabla 60. Características físicas de los agregados

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
MÓDULO DE FINURA (M.F.) (M.G.)	3.30	7.15
PESO ESPECÍFICO DE MASA	2.54	2.52 g/cm ³
PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	2.57	2.55 g/cm ³
PESO ESPECÍFICO NOMINAL O APARENTE	2.62 g/cm ³	2.60 g/cm ³
ABSORCIÓN	1.18 %	1.25 %
CONTENIDO DE HUMEDAD	3.80 %	0.46 %
PESO UNITARIO SECO SUELTO	1 561 Kg/m ³	1515 Kg/m ³
PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	1 680 Kg/m ³	1 602 Kg/m ³
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	-	26.00 %
% QUE PASA EL TAMIZ N° 200	3.2 %	-
PERFIL	-	ANGULAR
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	-	¾"

- Características del cemento:
 - Cemento Portland Tipo Ms Pacasmayo
 - Peso específico: 3.11 gr/cm³
- Características de las limaduras de hierro fundido:
 - Peso específico: 3.26 gr/cm³
 - Módulo de finura: 2.38

a) Diseño de mezcla - concreto normal ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$)

- Resistencia de diseño: $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- Resistencia promedio (Tabla 10), condiciones de obra intermedias:
 $f'cr = 1.20 \times f'c$
 $f'cr = 252 \text{ Kg/cm}^2$
- Elección del asentamiento (Tabla 11):
Asentamiento = 3" a 4" (consistencia plástica)
- Tamaño máximo nominal: $\frac{3}{4}$ "
- Estimación del agua de mezclado (Tabla 12): 205 lt/m^3
- Aire atrapado (Tabla 14): 2.0%

- Relación agua – cemento (Tabla 17):

Interpolando

$f'cr$	a/c
245	0.62
252	0.603
280	0.58

$$a/c = 0.603$$

- Factor cemento:

$$c = \frac{205}{0.612}$$

$$c = 340 \text{ Kg/m}^3$$

$$c = 8 \text{ bol/m}^3$$

- Volumen absoluto de la pasta:

Cemento	: $340 / (3.11 \times 1000)$:	0.1093248 m^3
Agua	: $205 / (1 \times 1000)$:	0.205 m^3
Aire	: 2.0%	:	<u>0.020 m^3</u>
Volumen absoluto			: 0.334324759 m^3

- Volumen absoluto del agregado: $1 - 0.311 = 0.665675241 \text{ m}^3$
- Cálculo del módulo de finura de la combinación de agregados (Tabla 17):

$$mc = 5.11$$

- Cálculo del valor de r_f (porcentaje de agregado fino):

$$r_f = \frac{(mg - mc)}{(mg - mf)} \times 100$$

$$r_f = \frac{(7.15 - 5.11)}{(7.15 - 3.30)} \times 100$$

$$r_f = 52.99 \%$$

- Cálculo del valor de r_g (porcentaje de agregado grueso):

$$r_g = 100 - 52.99$$

$$r_g = 47.01 \%$$

- Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados:

- o Agregado fino: $0.665675241 \times 0.5299 = 0.3527 \text{ m}^3$
- o Agregado grueso: $0.665675241 \times 0.4701 = 0.3129 \text{ m}^3$

- Peso seco de los agregados:

- o Agregado fino: $0.3527 \times 2.62 \times 1000 = 924 \text{ kg/m}^3$
- o Agregado grueso: $0.3129 \times 2.60 \times 1000 = 814 \text{ kg/m}^3$

- Valores de diseño:

- o Cemento : 340 kg/m^3
- o Agua de diseño : 205 lt/m^3
- o Agregado fino seco : 924 kg/m^3
- o Agregado grueso seco : 814 kg/m^3

- Corrección por humedad del agregado:
Peso húmedo del:
 - Agregado fino : $924 \times 1.038 = 959 \text{ kg/ m}^3$
 - Agregado grueso : $814 \times 1.0046 = 818 \text{ kg/ m}^3$

- Humedad superficial del:
 - Agregado fino : $3.80\% - 1.18\% = + 2.62\%$
 - Agregado grueso : $0.46\% - 1.25\% = - 0.79\%$

- Aporte de humedad del:
 - Agregado fino : $924 \times 0.0262 = + 24.21 \text{ lt/m}^3$
 - Agregado grueso : $814 \times -0.0079 = - \underline{6.43 \text{ lt/m}^3}$
 - Aporte de humedad del agregado = $+ 17.78 \text{ lt/m}^3$
 - Agua efectiva: $205 - 17.78 = 187.20 \text{ lt/m}^3$

- Valores finales de obra:
 - Cemento : 340 kg/m^3
 - Agua de diseño : 187.20 lt/m^3
 - Agregado fino húmedo : 959 kg/m^3
 - Agregado grueso húmedo : 818 kg/m^3
 - Aire atrapado : 2%

- Proporción en peso:

$$\frac{340}{340} : \frac{959}{340} : \frac{818}{340} = 1 : 2.82 : 2.41$$

- Pesos por tandas de un saco:
 - Relación agua – cemento efectiva: $187.20/340 = 0.55$

Y las cantidades de materiales por tanda de un saco serán:

- Cemento : $1 \times 42.5 = 42.50 \text{ kg/bolsa}$
- Agua efectiva : $0.55 \times 42.5 = 23.40 \text{ lt/bolsa}$
- Agregado Fino húmedo : $2.82 \times 42.5 = 119.85 \text{ kg/bolsa}$
- Agregado Grueso húmedo : $2.41 \times 42.5 = 102.43 \text{ kg/bolsa}$

- Conversión de la mezcla a volumen:

Peso unitario del agregado:

- o Fino húmedo : $1561 \times 1.038 = 1620.318 \text{ kg/m}^3$
- o Grueso húmedo : $1392 \times 1.0046 = 1398.403 \text{ kg/m}^3$

Peso por pie cúbico del agregado:

- o Fino húmedo : $1620.318 / 35.31 = 45.89 \text{ kg/pie}^3$
- o Grueso húmedo : $1398.403 / 35.31 = 39.60 \text{ kg/pie}^3$

Dosificación en volumen equivalente:

- o Cemento : $1 \times 42.50 / 42.50 = 1$
- o Agregado fino húmedo : $2.82 \times 42.50 / 45.89 = 2.61$
- o Agregado grueso húmedo : $2.41 \times 42.50 / 39.60 = 2.58$

Dosificación en volumen equivalente: 1 : 2.61 : 2.58 : 23.4(lt/bolsa)

- **Para una tanda de 0.02 m³**

- o Cemento : 6800 g
- o Agua efectiva : 3744 cm³
- o Agregado fino húmedo : 19180 g
- o Agregado grueso húmedo : 16360 g

b) Diseños de mezcla – adición de limaduras de hierro fundido

Tabla 61. Cantidades de materiales por 1 m³, con adición de limaduras de hierro fundido (f'c = 210 kg/cm²)

Materiales	% de adición de limaduras de hierro fundido			
	0%	4%	6%	8%
Cemento	340 kg	340 kg	340 kg	340 kg
Agua de diseño	187.20 lt	188.20 lt	188.70 lt	189.20 lt
Agregado fino húmedo	959 kg	921 kg	902 kg	882 kg
Agregado grueso húmedo	818 kg	818 kg	818 kg	818 kg
Limaduras de hierro fundido	-	36.96 kg	55.44 kg	73.92 kg

Tabla 62. Cantidades de materiales por tanda de 0.02 m³, con adición de limaduras de hierro fundido (f'c = 210 kg/cm²)

Materiales	% de adición de limaduras de hierro fundido			
	0%	4%	6%	8%
Cemento	6800 g	6800 g	6800 g	6800 g
Agua efectiva	3744 cm ³	3764 cm ³	3774 cm ³	3784 cm ³
Agregado fino húmedo	19180 g	18420 g	18040 g	17640 g
Agregado grueso húmedo	16360 g	16360 g	16360 g	16360 g
Limaduras de hierro fundido	-	739.20 g	1108.80 g	1478.40 g

c) Diseños de mezcla adicionales – incremento de limaduras de hierro fundido

Tabla 63. Cantidades de materiales por 1 m³, con adición de limaduras de hierro fundido (f'c = 210 kg/cm²)

Materiales	% de adición de limaduras de hierro fundido		
	10%	20%	30%
Cemento	340 kg	340 kg	340 kg
Agua de diseño	189.60 lt	192.10 lt	194.50 lt
Agregado fino húmedo	863 kg	767 kg	671 kg
Agregado grueso húmedo	818 kg	818 kg	818 kg
Limaduras de hierro fundido	92.40 kg	184.80 kg	277.20 kg

Tabla 64. Cantidades de materiales por tanda de 0.02 m³, con adición de limaduras de hierro fundido (f'c = 210 kg/cm²)

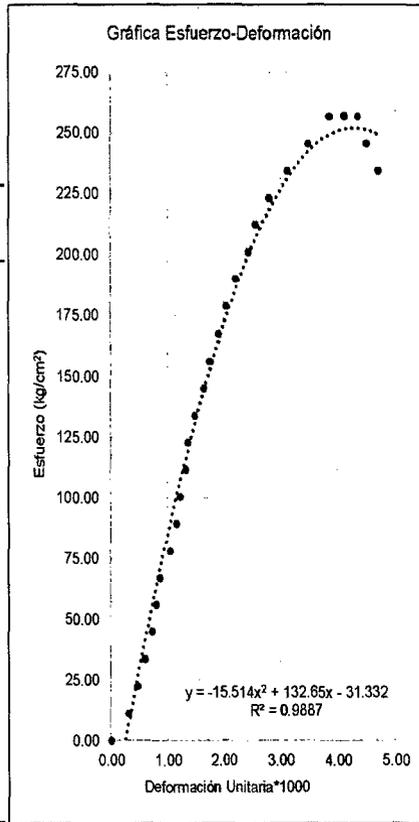
Materiales	% de adición de limaduras de hierro fundido		
	10%	20%	30%
Cemento	6800 g	6800 g	6800 g
Agua de diseño	3792 cm ³	3842 cm ³	3890 cm ³
Agregado fino húmedo	17260 g	15340 g	13420 g
Agregado grueso húmedo	16360 g	16360 g	16360 g
Limaduras de hierro fundido	1848 g	3696 g	5544 g

ANEXO II. Diagramas Esfuerzo-Deformación 28 días de edad

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 0%
 COD. ESPÉCIMEN: C-0-1
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.1
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 179.079

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.09	0.30	11.17	35.79
4000	0.14	0.46	22.34	54.49
6000	0.18	0.59	33.50	68.84
8000	0.22	0.72	44.67	82.65
10000	0.24	0.79	55.84	89.38
12000	0.26	0.86	67.01	95.92
14000	0.32	1.05	78.18	114.81
16000	0.35	1.15	89.35	123.80
18000	0.37	1.22	100.51	129.83
20000	0.40	1.32	111.68	138.11
22000	0.41	1.35	122.85	140.87
24000	0.45	1.48	134.02	151.57
26000	0.50	1.84	145.19	164.19
28000	0.53	1.74	156.36	171.35
30000	0.58	1.91	167.52	182.62
32000	0.62	2.04	178.69	191.02
34000	0.67	2.20	189.86	200.77
36000	0.74	2.43	201.03	212.99
38000	0.78	2.57	212.20	219.23
40000	0.85	2.80	223.37	228.85
42000	0.95	3.13	234.53	239.72
44000	1.06	3.49	245.70	247.78
46000	1.17	3.85	256.87	251.74
46030	1.25	4.11	257.04	252.06
46000	1.32	4.34	256.87	250.56
44000	1.37	4.51	245.70	248.48
42000	1.43	4.70	234.53	244.86

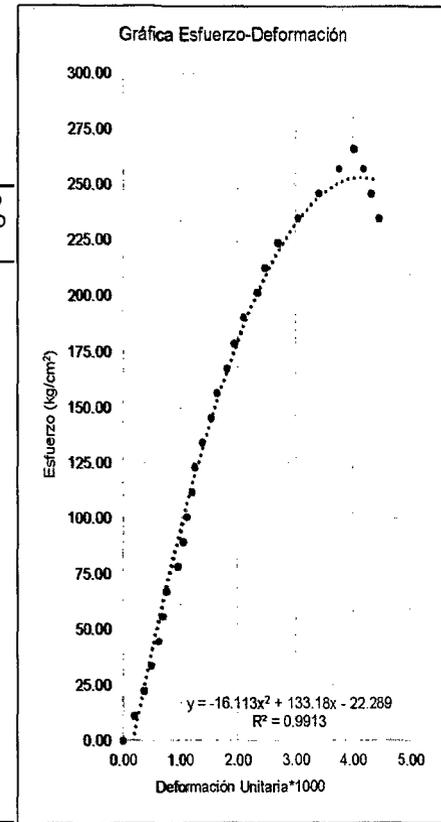


ECUACION (ESFUERZO):	$-15.616 X^2 + 133.08 X + -31.332$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9887$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	257.04
MÓD. DE ELASTICIDAD:	240486.033
ECUACION CORREGIDA:	$-15.616 X^2 + 125.51 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 0%
 COD. ESPÉCIMEN: C-0-2
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.1
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 179.079

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.08	0.20	11.17	24.16
4000	0.11	0.36	22.34	43.37
6000	0.15	0.49	33.50	58.13
8000	0.19	0.63	44.67	72.34
10000	0.21	0.69	55.84	79.25
12000	0.23	0.76	67.01	86.02
14000	0.29	0.95	78.18	105.52
16000	0.32	1.05	89.35	114.81
18000	0.34	1.12	100.51	120.84
20000	0.37	1.22	111.68	129.63
22000	0.38	1.25	122.85	132.49
24000	0.42	1.38	134.02	143.60
26000	0.47	1.55	145.19	156.72
28000	0.50	1.64	156.36	164.19
30000	0.55	1.81	167.52	175.98
32000	0.59	1.84	178.69	184.77
34000	0.64	2.11	189.86	195.02
36000	0.71	2.34	201.03	207.98
38000	0.75	2.47	212.20	214.60
40000	0.82	2.70	223.37	224.93
42000	0.92	3.03	234.53	236.82
44000	1.03	3.39	245.70	245.99
46000	1.14	3.75	256.87	251.07
47590	1.22	4.01	265.75	252.20
46000	1.27	4.18	256.87	251.80
44000	1.31	4.31	245.70	250.88
42000	1.35	4.44	234.53	249.41

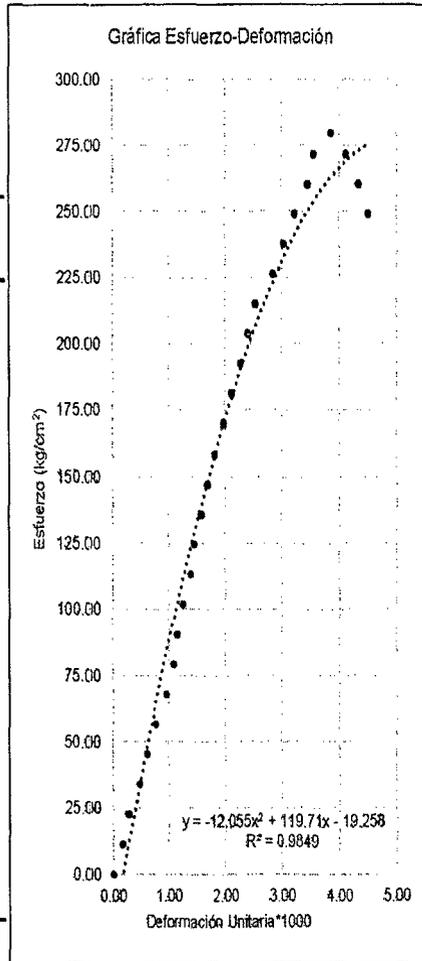


ECUACION (ESFUERZO):	$-15.616 X^2 + 133.08 X + -31.332$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9913$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	265.75
MÓD. DE ELASTICIDAD:	244527.227
ECUACION CORREGIDA:	$-15.616 X^2 + 125.51 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 0%
 COD. ESPÉCIMEN: C-0-3
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 176.715

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.05	0.16	11.32	18.71
4000	0.08	0.28	22.84	29.63
6000	0.14	0.48	33.95	50.76
8000	0.18	0.59	45.27	64.32
10000	0.23	0.76	56.59	80.69
12000	0.29	0.95	67.91	99.46
14000	0.33	1.09	79.22	111.46
16000	0.35	1.15	90.54	117.30
18000	0.38	1.25	101.86	125.67
20000	0.42	1.38	113.18	136.93
22000	0.44	1.45	124.49	142.30
24000	0.48	1.58	135.81	152.74
26000	0.51	1.88	147.13	160.29
28000	0.55	1.81	158.45	169.99
30000	0.60	1.97	169.77	181.53
32000	0.64	2.11	181.08	190.29
34000	0.69	2.27	192.40	200.66
36000	0.73	2.40	203.72	208.48
38000	0.77	2.53	215.04	215.88
40000	0.88	2.83	226.35	231.02
42000	0.92	3.03	237.67	239.94
44000	0.98	3.22	248.99	247.92
46000	1.05	3.45	260.31	256.04
48000	1.08	3.55	271.62	259.13
49460	1.17	3.85	279.89	266.99
48000	1.25	4.11	271.62	272.20
48000	1.32	4.34	260.31	275.39
44000	1.37	4.51	248.99	276.88

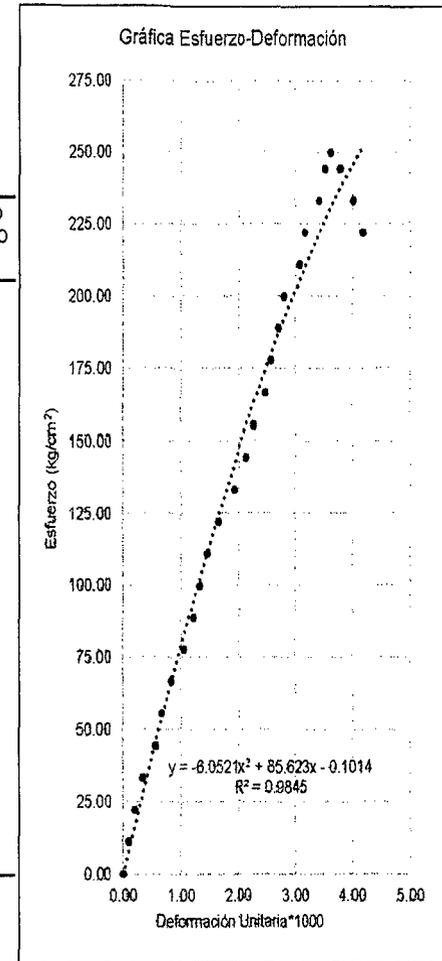


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-12.055 X^2 + 119.71 X - 19.258$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9849$
ESF. ROTURA (kg/cm²):	279.89
MÓD. DE ELASTICIDAD:	250947.062
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-12.055 X^2 + 115.77 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 0%
 COD. ESPÉCIMEN: C-0-4
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.1
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 179.079

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.03	0.10	11.09	9.31
4000	0.08	0.20	22.19	18.45
6000	0.10	0.33	33.28	30.39
8000	0.17	0.56	44.38	50.58
10000	0.20	0.66	55.47	58.97
12000	0.25	0.82	66.57	72.58
14000	0.32	1.05	77.66	90.88
16000	0.37	1.22	88.76	103.41
18000	0.40	1.32	99.85	110.71
20000	0.44	1.45	110.95	120.19
22000	0.50	1.84	122.04	133.86
24000	0.58	1.91	133.14	151.09
26000	0.65	2.14	144.23	165.21
28000	0.69	2.27	155.33	172.89
30000	0.75	2.47	166.42	183.85
32000	0.78	2.57	177.51	189.09
34000	0.82	2.70	188.61	195.82
36000	0.85	2.80	199.70	200.68
38000	0.93	3.08	210.80	212.85
40000	0.98	3.18	221.89	217.11
42000	1.04	3.42	232.99	227.68
44000	1.07	3.52	244.08	231.35
44990	1.10	3.62	249.57	232.06
44000	1.15	3.78	244.08	240.33
42000	1.22	4.01	232.99	247.24
40000	1.27	4.18	221.89	251.64

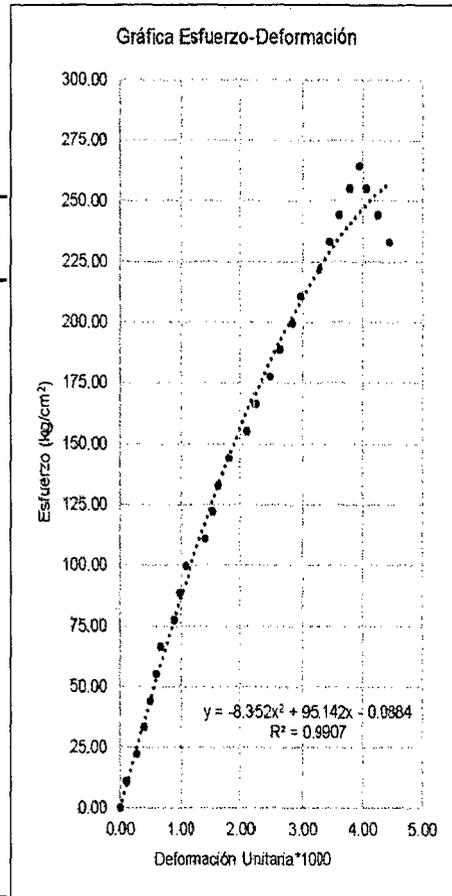


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-6.0923 X^2 + 86.191 X - 0.1021$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9845$
ESF. ROTURA (kg/cm²):	249.57
MÓD. DE ELASTICIDAD:	236969.080
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-6.0923 X^2 + 86.18 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 0%
 COD. ESPÉCIMEN: C-0-5
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.15
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 180.267

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.03	0.10	11.09	0.00
4000	0.08	0.26	22.19	0.00
6000	0.12	0.39	33.28	0.00
8000	0.15	0.49	44.38	0.00
10000	0.18	0.59	55.47	0.00
12000	0.20	0.66	66.57	0.00
14000	0.27	0.89	77.66	0.00
16000	0.30	0.99	88.76	0.00
18000	0.33	1.09	99.85	0.00
20000	0.43	1.41	110.95	0.00
22000	0.47	1.55	122.04	0.00
24000	0.50	1.64	133.14	0.00
26000	0.55	1.81	144.23	0.00
28000	0.64	2.11	155.33	0.00
30000	0.68	2.24	166.42	0.00
32000	0.75	2.47	177.51	0.00
34000	0.80	2.63	188.61	0.00
36000	0.86	2.83	199.70	0.00
38000	0.90	2.96	210.80	0.00
40000	1.00	3.29	221.89	0.00
42000	1.05	3.45	232.99	0.00
44000	1.10	3.62	244.08	0.00
46000	1.15	3.78	255.18	0.00
47660	1.20	3.95	264.39	245.36
48000	1.23	4.05	255.18	0.00
44000	1.29	4.24	244.08	0.00
42000	1.35	4.44	232.99	0.00

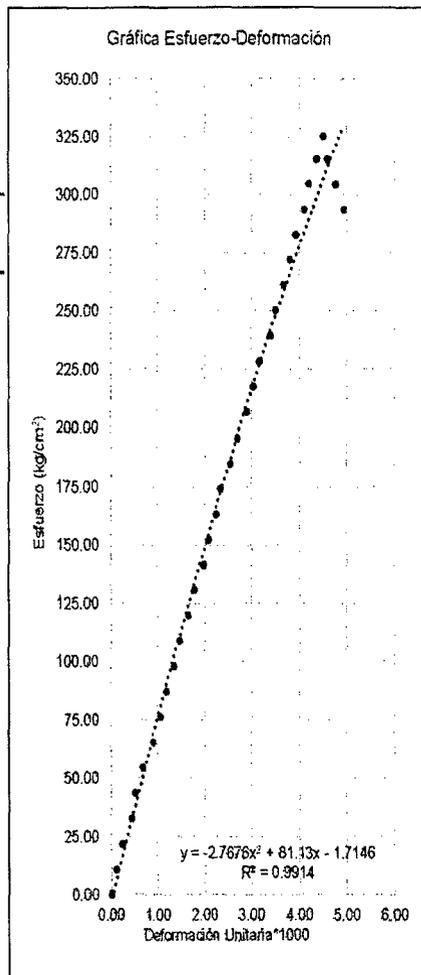


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-8.352 x^2 + 95.142 x - 0.0884$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9907$
ESF. ROTURA (kg/cm²):	264.39
MÓD. DE ELASTICIDAD:	243899.385
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-8.352 x^2 + 95.13 x + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 4%
 COD. ESPÉCIMEN: C-4-1
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 303
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.03	0.10	10.88	7.99
4000	0.07	0.23	21.76	16.57
6000	0.13	0.43	32.63	24.25
8000	0.15	0.50	43.51	32.43
10000	0.20	0.66	54.39	40.27
12000	0.27	0.89	65.27	48.25
14000	0.32	1.06	76.15	56.27
16000	0.36	1.19	87.03	64.25
18000	0.41	1.35	97.90	72.27
20000	0.44	1.45	108.78	80.25
22000	0.50	1.65	119.66	88.27
24000	0.54	1.78	130.54	96.25
26000	0.60	1.98	141.42	104.27
28000	0.63	2.08	152.29	112.25
30000	0.68	2.24	163.17	120.27
32000	0.71	2.34	174.05	128.25
34000	0.77	2.54	184.93	136.27
36000	0.82	2.71	195.81	144.25
38000	0.88	2.90	206.69	152.27
40000	0.92	3.04	217.58	160.25
42000	0.96	3.17	228.44	168.27
44000	1.03	3.40	239.32	176.25
46000	1.06	3.50	250.20	184.27
48000	1.11	3.66	261.08	192.25
50000	1.15	3.80	271.96	200.27
52000	1.19	3.93	282.83	208.25
54000	1.24	4.09	293.71	216.27
56000	1.27	4.19	304.59	224.25
58000	1.32	4.36	315.47	232.27
59830	1.36	4.49	325.42	240.25
58000	1.39	4.59	315.47	232.27
56000	1.44	4.75	304.59	224.25
54000	1.49	4.92	293.71	216.27

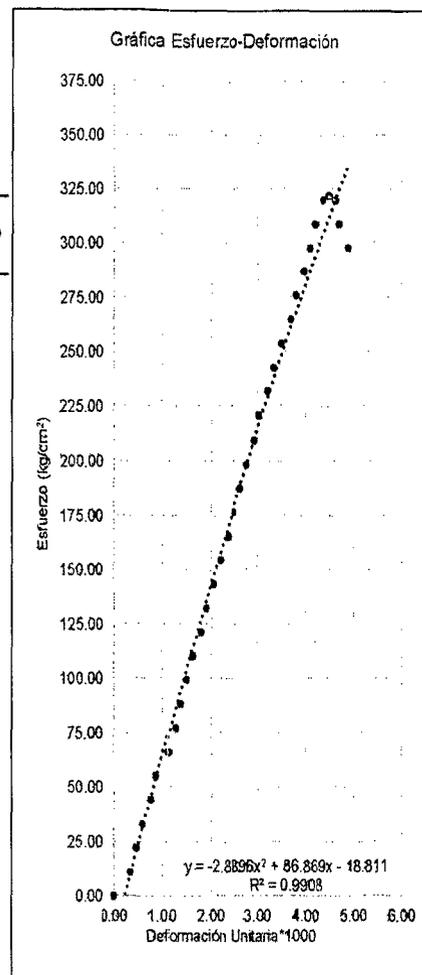


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-2.7676 X^2 + 81.13 X - 1.7146$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9914$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	325.42
MÓD. DE ELASTICIDAD:	270591.649
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-2.7676 X^2 + 81.01 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 4%
 COD. ESPÉCIMEN: C-4-2
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 302
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.10	0.33	11.02	28.03
4000	0.14	0.46	22.04	39.07
6000	0.18	0.60	33.07	50.00
8000	0.23	0.76	44.09	63.52
10000	0.28	0.86	55.11	71.56
12000	0.34	1.13	66.13	82.72
14000	0.38	1.26	77.15	103.14
16000	0.41	1.38	88.17	110.90
18000	0.45	1.49	99.20	121.15
20000	0.49	1.62	110.22	131.29
22000	0.54	1.79	121.24	143.84
24000	0.57	1.89	132.26	151.29
26000	0.62	2.05	143.28	163.57
28000	0.66	2.19	154.31	173.28
30000	0.71	2.35	165.33	185.29
32000	0.75	2.48	176.35	194.78
34000	0.79	2.62	187.37	204.17
36000	0.83	2.75	198.39	213.46
38000	0.88	2.91	209.41	224.92
40000	0.91	3.01	220.44	231.72
42000	0.98	3.18	231.46	242.83
44000	1.00	3.31	242.48	251.79
46000	1.05	3.48	253.50	262.71
48000	1.11	3.68	264.52	275.62
50000	1.14	3.77	275.55	281.98
52000	1.19	3.94	286.57	292.47
54000	1.23	4.07	297.59	300.74
56000	1.26	4.17	308.61	308.87
58000	1.31	4.34	319.63	318.98
58360	1.35	4.47	321.62	324.94
58000	1.39	4.60	319.63	332.81
56000	1.41	4.67	308.61	336.71
54000	1.47	4.87	297.59	348.24

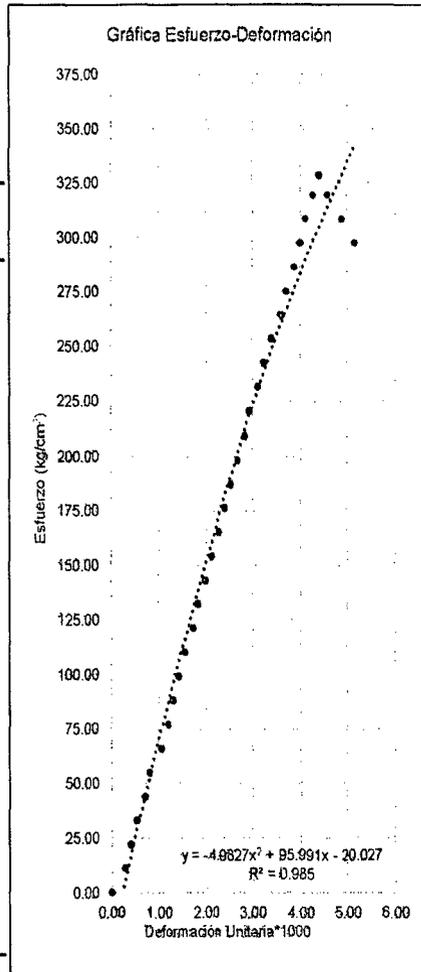


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-2.8896 X^2 + 86.869 X - 18.811$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9908$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	321.62
MÓD. DE ELASTICIDAD:	269005.012
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-2.8896 X^2 + 85.61 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 4%
 COD. ESPÉCIMEN: C-4-3
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 303
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.08	0.28	11.02	24.44
4000	0.12	0.40	22.04	36.40
6000	0.18	0.53	33.07	48.19
8000	0.21	0.69	44.09	62.68
10000	0.24	0.79	55.11	71.24
12000	0.32	1.08	66.13	83.60
14000	0.38	1.19	77.15	104.52
16000	0.39	1.29	88.17	112.59
18000	0.43	1.42	99.20	123.21
20000	0.47	1.55	110.22	133.65
22000	0.52	1.72	121.24	146.45
24000	0.55	1.82	132.26	154.01
26000	0.60	1.88	143.28	168.38
28000	0.84	2.11	154.31	178.08
30000	0.69	2.28	165.33	187.97
32000	0.73	2.41	176.35	197.28
34000	0.77	2.54	187.37	208.42
36000	0.81	2.67	198.39	215.38
38000	0.88	2.84	209.41	228.34
40000	0.89	2.94	220.44	232.79
42000	0.94	3.10	231.46	243.32
44000	0.98	3.23	242.48	251.54
46000	1.03	3.40	253.50	261.58
48000	1.09	3.60	264.52	273.27
50000	1.12	3.70	275.55	278.97
52000	1.17	3.88	286.57	288.25
54000	1.21	3.99	297.59	295.48
56000	1.24	4.09	308.61	300.78
58000	1.29	4.28	319.63	309.41
59800	1.33	4.39	328.89	316.12
58000	1.38	4.55	319.63	324.26
56000	1.47	4.85	308.61	338.22
54000	1.56	5.15	297.59	351.31

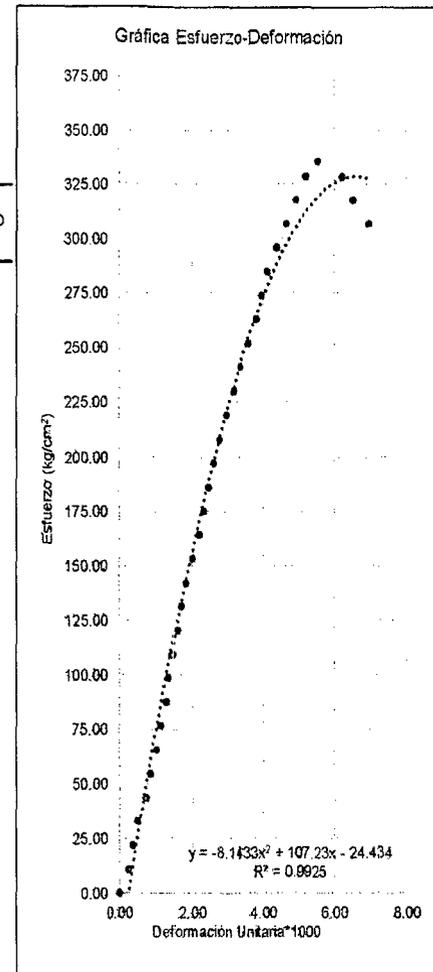


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-4.9827 X^2 + 95.991 X + -20.027$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.985$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	328.89
MOD. DE ELASTICIDAD:	272030.211
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-4.9827 X^2 + 93.89 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 4%
 COD. ESPÉCIMEN: C-4-4
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.25
 ALTURA (mm): 303
 ÁREA (cm²): 182.654

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.07	0.23	10.95	23.47
4000	0.11	0.36	21.90	36.48
6000	0.15	0.50	32.85	49.22
8000	0.22	0.73	43.80	70.62
10000	0.28	0.88	54.75	82.77
12000	0.31	1.02	65.70	97.32
14000	0.34	1.12	76.65	105.83
16000	0.39	1.29	87.60	119.67
18000	0.41	1.35	98.55	125.07
20000	0.44	1.45	109.50	133.08
22000	0.48	1.58	120.45	143.45
24000	0.51	1.68	131.40	151.06
26000	0.58	1.82	142.35	160.95
28000	0.60	1.98	153.30	172.92
30000	0.66	2.18	164.24	186.70
32000	0.70	2.31	175.19	195.54
34000	0.74	2.44	186.14	204.08
36000	0.78	2.57	197.09	212.35
38000	0.83	2.74	208.04	222.28
40000	0.89	2.94	218.99	233.61
42000	0.95	3.14	229.94	244.31
44000	1.01	3.33	240.89	254.36
46000	1.08	3.58	251.84	265.28
48000	1.15	3.80	262.79	275.34
50000	1.19	3.93	273.74	280.69
52000	1.24	4.09	284.69	288.99
54000	1.32	4.36	295.64	298.14
56000	1.40	4.62	306.59	304.15
58000	1.48	4.88	317.54	311.03
60000	1.57	5.18	328.49	317.41
61310	1.67	5.51	335.66	322.81
60000	1.88	6.20	328.49	328.39
58000	1.97	6.50	317.54	328.38
56000	2.10	6.93	306.59	325.84

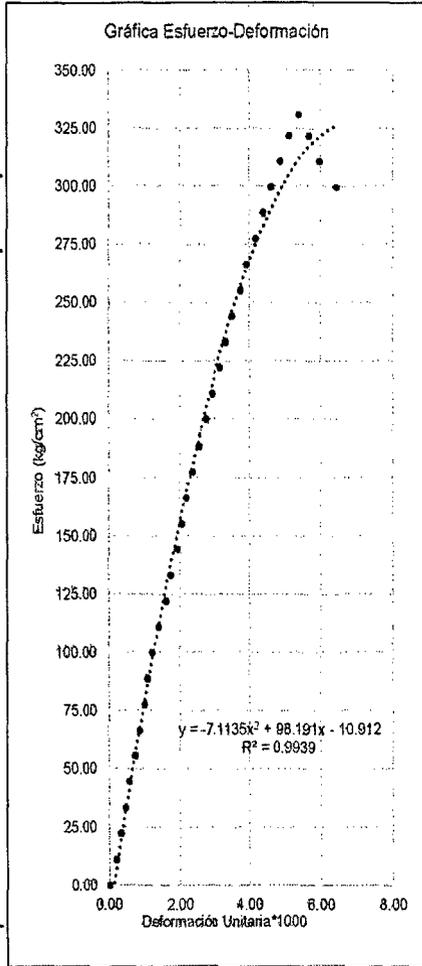


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-8.1433 X^2 + 107.23 X + -24.434$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9925$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	335.66
MOD. DE ELASTICIDAD:	274816.075
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-8.1433 X^2 + 103.45 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 4%
 COD. ESPÉCIMEN: C-4-5
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.15
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 180.267

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.08	0.20	11.09	18.79
4000	0.10	0.33	22.19	31.01
8000	0.14	0.46	33.28	42.98
8000	0.17	0.58	44.38	51.79
10000	0.22	0.72	55.47	68.18
12000	0.28	0.88	66.57	77.41
14000	0.30	0.99	77.66	88.40
16000	0.33	1.09	88.76	98.48
18000	0.37	1.22	99.85	107.03
20000	0.42	1.38	110.95	119.88
22000	0.49	1.81	122.04	137.22
24000	0.53	1.74	133.14	148.79
26000	0.58	1.91	144.23	158.40
28000	0.82	2.04	155.33	167.42
30000	0.86	2.17	166.42	178.19
32000	0.71	2.34	177.51	188.80
34000	0.77	2.53	188.61	199.03
36000	0.83	2.73	199.70	210.71
38000	0.88	2.89	210.80	220.02
40000	0.88	3.16	221.89	234.11
42000	1.01	3.32	232.99	242.41
44000	1.07	3.82	244.08	281.87
46000	1.14	3.75	255.18	262.21
48000	1.19	3.91	266.27	269.13
50000	1.27	4.18	277.37	279.40
52000	1.33	4.38	288.46	288.48
54000	1.40	4.81	299.56	293.99
56000	1.48	4.87	310.65	301.87
58000	1.55	5.10	321.75	307.59
59840	1.83	5.36	330.84	313.43
58000	1.72	5.86	321.75	318.82
56000	1.81	5.95	310.65	322.98
54000	1.95	6.41	299.56	326.93

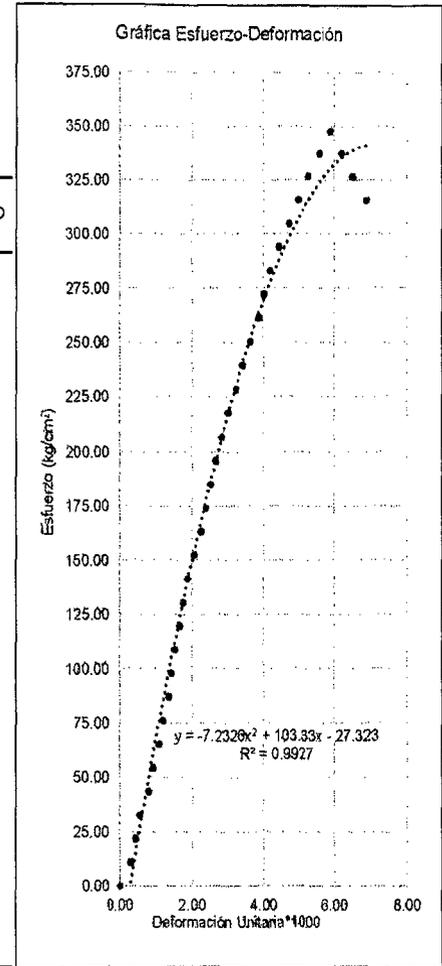


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-7.1135 X^2 + 98.191 X - 10.912$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9939$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	330.84
MOD. DE ELASTICIDAD:	272838.521
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-7.1135 X^2 + 96.80 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 4%
 COD. ESPÉCIMEN: C-4-8
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 303
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.09	0.30	10.88	28.80
4000	0.13	0.43	21.78	41.33
8000	0.17	0.58	32.63	53.51
8000	0.24	0.79	43.51	74.22
10000	0.28	0.92	54.39	85.70
12000	0.33	1.09	65.27	99.71
14000	0.38	1.19	76.15	107.82
16000	0.41	1.35	87.03	121.29
18000	0.43	1.42	97.90	128.53
20000	0.48	1.52	108.78	134.27
22000	0.50	1.85	119.66	144.37
24000	0.53	1.75	130.54	151.78
28000	0.57	1.88	141.42	161.44
28000	0.82	2.05	152.29	173.16
30000	0.86	2.24	163.17	186.70
32000	0.72	2.38	174.05	195.41
34000	0.78	2.51	184.93	203.87
36000	0.80	2.64	195.81	212.08
38000	0.85	2.81	206.69	221.98
40000	0.91	3.00	217.58	233.35
42000	0.97	3.20	228.44	244.15
44000	1.03	3.40	239.32	254.88
46000	1.10	3.83	250.20	265.60
48000	1.17	3.88	261.08	276.05
50000	1.21	3.99	271.96	281.67
52000	1.28	4.18	282.83	288.34
54000	1.34	4.42	293.71	298.20
56000	1.42	4.69	304.59	307.05
58000	1.50	4.95	315.47	314.89
60000	1.59	5.25	326.35	322.51
62000	1.69	5.58	337.22	329.47
63930	1.78	5.87	347.72	334.39
62000	1.88	6.20	337.22	338.36
60000	1.97	6.50	326.35	340.58
58000	2.08	6.86	315.47	341.56

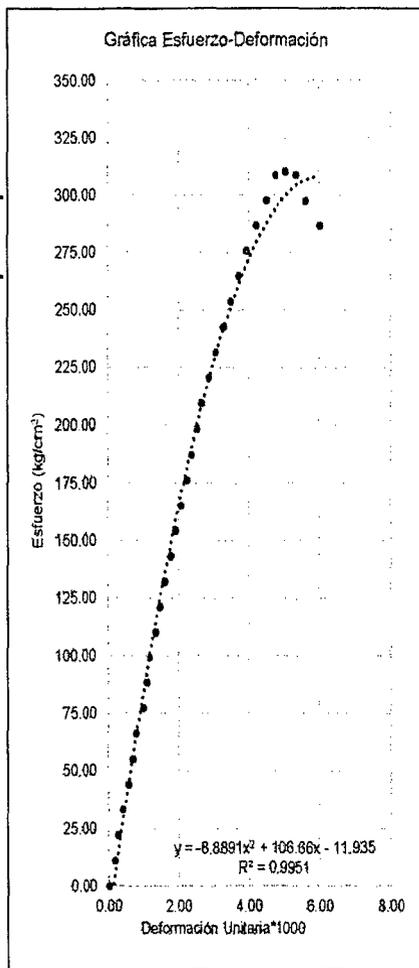


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-7.236 X^2 + 103.33 X - 27.323$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9907$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	347.72
MOD. DE ELASTICIDAD:	279709.515
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-7.236 X^2 + 99.43 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 6%
 COD. ESPÉCIMEN: C-6-1
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 305
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.05	0.16	11.02	16.92
4000	0.08	0.26	22.04	26.84
6000	0.12	0.39	33.07	39.80
8000	0.17	0.56	44.09	55.57
10000	0.21	0.69	55.11	67.84
12000	0.24	0.79	66.13	78.84
14000	0.30	0.98	77.15	94.34
16000	0.33	1.08	88.17	102.82
18000	0.36	1.18	99.20	111.14
20000	0.41	1.34	110.22	124.62
22000	0.45	1.48	121.24	135.05
24000	0.49	1.61	132.26	145.19
26000	0.54	1.77	143.28	157.42
28000	0.58	1.90	154.31	169.86
30000	0.63	2.07	165.33	178.24
32000	0.68	2.23	176.35	189.14
34000	0.72	2.36	187.37	197.51
36000	0.77	2.52	198.39	207.55
38000	0.81	2.66	209.41	215.23
40000	0.87	2.85	220.44	226.19
42000	0.93	3.05	231.46	236.46
44000	1.00	3.28	242.48	247.56
46000	1.06	3.48	253.50	256.34
48000	1.13	3.70	264.52	265.71
50000	1.20	3.93	275.55	274.14
52000	1.28	4.20	286.57	282.64
54000	1.37	4.49	297.59	290.73
56000	1.45	4.75	308.61	296.62
58270	1.54	5.05	310.10	301.78
56000	1.63	5.34	308.61	305.40
54000	1.71	5.61	297.59	307.32
52000	1.83	6.00	286.57	307.90

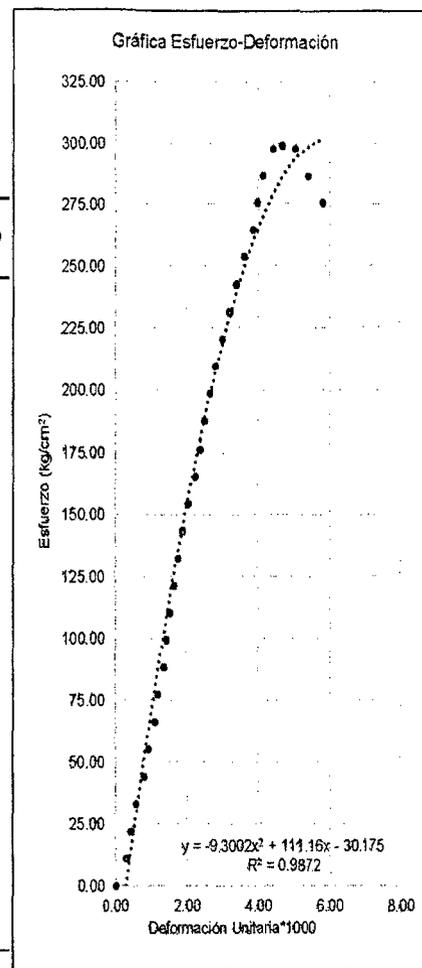


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-8.8891 X^2 + 106.66 X + -11.935$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9951$
ESF. ROTURA (kg/cm²):	310.10
MDD. DE ELASTICIDAD:	264144.266
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-8.8891 X^2 + 104.65 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 6%
 COD. ESPÉCIMEN: C-6-2
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 305
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.09	0.30	11.02	25.01
4000	0.13	0.43	22.04	35.96
6000	0.17	0.56	33.07	46.82
8000	0.24	0.79	44.09	65.57
10000	0.28	0.92	55.11	78.16
12000	0.33	1.08	66.13	89.24
14000	0.36	1.18	77.15	97.02
16000	0.41	1.34	88.17	109.86
18000	0.43	1.41	99.20	114.95
20000	0.46	1.51	110.22	122.54
22000	0.50	1.64	121.24	132.58
24000	0.53	1.74	132.26	140.04
26000	0.57	1.87	143.28	149.00
28000	0.62	2.03	154.31	162.05
30000	0.68	2.23	165.33	173.50
32000	0.72	2.36	176.35	185.09
34000	0.76	2.49	187.37	195.36
36000	0.80	2.62	198.39	204.67
38000	0.85	2.79	209.41	216.14
40000	0.91	2.98	220.44	229.70
42000	0.97	3.18	231.46	243.04
44000	1.03	3.38	242.48	256.15
46000	1.10	3.61	253.50	271.17
48000	1.17	3.84	264.52	285.88
50000	1.21	3.97	275.55	294.15
52000	1.26	4.13	286.57	304.35
54000	1.34	4.39	297.59	320.34
54250	1.42	4.66	298.97	335.84
54000	1.53	5.02	297.59	356.73
52000	1.64	5.38	286.57	376.77
50000	1.77	5.80	275.55	399.49

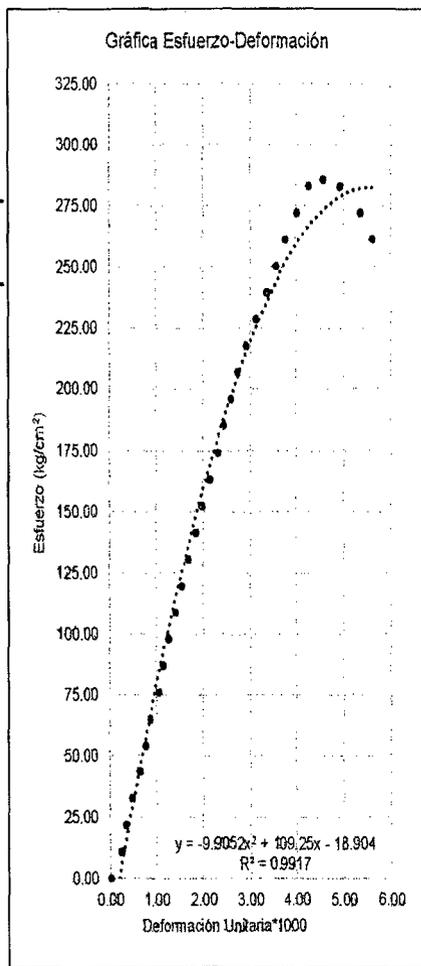


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-9.3002 X^2 + 111.16 X - 30.175$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9872$
ESF. ROTURA (kg/cm²):	298.97
MDD. DE ELASTICIDAD:	259359.764
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-2.8896 X^2 + 85.61 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 6%
 COD. ESPÉCIMEN: C-6-3
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 305
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.07	0.23	10.88	23.75
4000	0.10	0.33	21.78	33.61
6000	0.14	0.46	32.83	48.46
8000	0.19	0.62	43.51	62.04
10000	0.23	0.75	54.39	74.13
12000	0.26	0.85	65.27	82.96
14000	0.32	1.05	78.15	100.06
16000	0.35	1.15	87.03	108.33
18000	0.38	1.25	97.90	116.40
20000	0.43	1.41	108.78	129.43
22000	0.47	1.54	119.66	139.46
24000	0.51	1.67	130.54	149.16
26000	0.56	1.84	141.42	160.80
28000	0.60	1.97	152.29	169.73
30000	0.65	2.13	163.17	180.42
32000	0.70	2.30	174.05	190.57
34000	0.74	2.43	184.93	198.31
36000	0.79	2.59	195.81	207.50
38000	0.83	2.72	206.69	214.47
40000	0.89	2.92	217.58	224.29
42000	0.95	3.11	228.44	233.34
44000	1.02	3.34	239.32	242.93
46000	1.08	3.54	250.20	250.32
48000	1.15	3.77	261.08	257.97
50000	1.22	4.00	271.96	264.58
52000	1.30	4.26	282.83	270.86
52580	1.39	4.56	285.88	276.29
52000	1.50	4.92	282.83	280.59
50000	1.63	5.34	271.96	282.34
48000	1.71	5.61	261.08	281.63

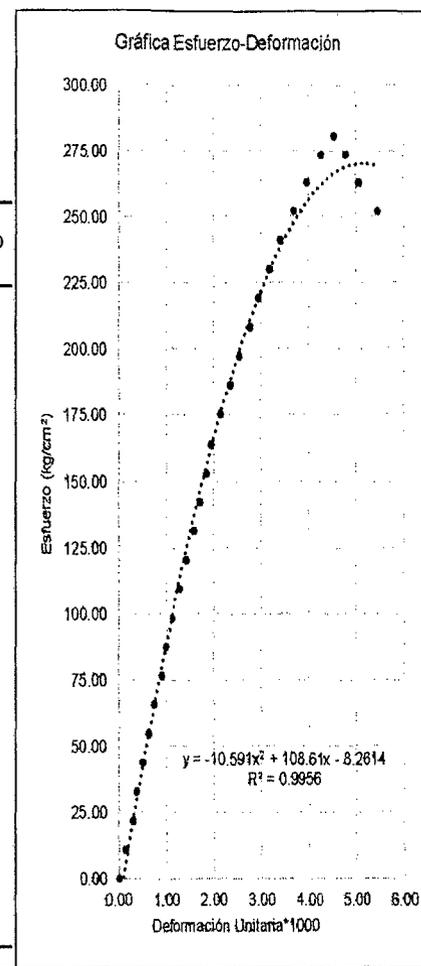


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-9.9052 X^2 + 109.25 X + -18.904$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9917$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	285.88
MOD. DE ELASTICIDAD:	253619.456
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-9.9052 X^2 + 105.77 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 6%
 COD. ESPÉCIMEN: C-6-4
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.25
 ALTURA (mm): 303
 ÁREA (cm²): 182.654

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.04	0.13	10.95	13.94
4000	0.09	0.30	21.90	30.84
6000	0.11	0.36	32.85	37.44
8000	0.15	0.50	43.80	50.37
10000	0.19	0.63	54.75	62.92
12000	0.22	0.73	65.70	72.10
14000	0.27	0.89	76.65	86.92
16000	0.30	0.99	87.60	95.56
18000	0.34	1.12	98.55	106.72
20000	0.39	1.29	109.50	120.16
22000	0.43	1.42	120.45	130.50
24000	0.48	1.58	131.40	142.91
26000	0.52	1.72	142.35	152.41
28000	0.58	1.85	153.30	161.55
30000	0.59	1.95	164.24	168.17
32000	0.65	2.15	175.19	180.77
34000	0.71	2.34	186.14	192.54
36000	0.77	2.54	197.09	203.48
38000	0.84	2.77	208.04	215.20
40000	0.89	2.94	218.99	222.88
42000	0.96	3.17	229.94	232.85
44000	1.03	3.40	240.89	241.30
46000	1.11	3.66	251.84	249.80
48000	1.20	3.96	262.79	257.59
50000	1.29	4.26	273.74	263.52
51280	1.37	4.52	280.75	267.22
50000	1.45	4.79	273.74	269.44
48000	1.53	5.05	262.79	270.19
46000	1.65	5.45	251.84	268.54

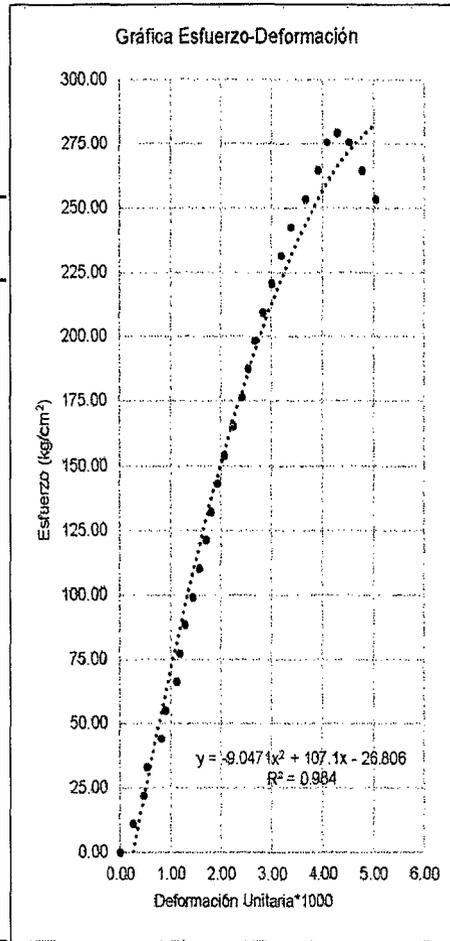


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-10.591 X^2 + 108.61 X + -8.2614$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9956$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	280.75
MOD. DE ELASTICIDAD:	251333.560
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-10.591 X^2 + 106.99 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 6%
 COD. ESPÉCIMEN: C-6-5
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.08	0.26	11.02	28.34
4000	0.14	0.46	22.04	45.27
6000	0.16	0.53	33.07	51.43
8000	0.25	0.82	44.09	78.15
10000	0.27	0.89	55.11	83.87
12000	0.34	1.12	66.13	103.29
14000	0.36	1.18	77.15	108.66
16000	0.39	1.28	88.17	116.57
18000	0.44	1.45	99.20	129.36
20000	0.48	1.58	110.22	139.24
22000	0.52	1.71	121.24	148.81
24000	0.55	1.81	132.26	155.78
26000	0.59	1.94	143.28	164.80
28000	0.63	2.07	154.31	173.50
30000	0.68	2.24	165.33	183.95
32000	0.73	2.40	176.35	193.90
34000	0.77	2.53	187.37	201.51
36000	0.81	2.66	198.39	208.80
38000	0.86	2.83	209.41	217.48
40000	0.91	2.99	220.44	225.67
42000	0.97	3.19	231.46	234.85
44000	1.02	3.36	242.48	241.97
46000	1.11	3.65	253.50	253.54
48000	1.19	3.91	264.52	262.49
50000	1.24	4.08	275.55	267.45
50870	1.30	4.28	279.24	272.76
50000	1.37	4.51	275.55	278.05
48000	1.45	4.77	264.52	282.94
46000	1.53	5.03	253.50	286.56

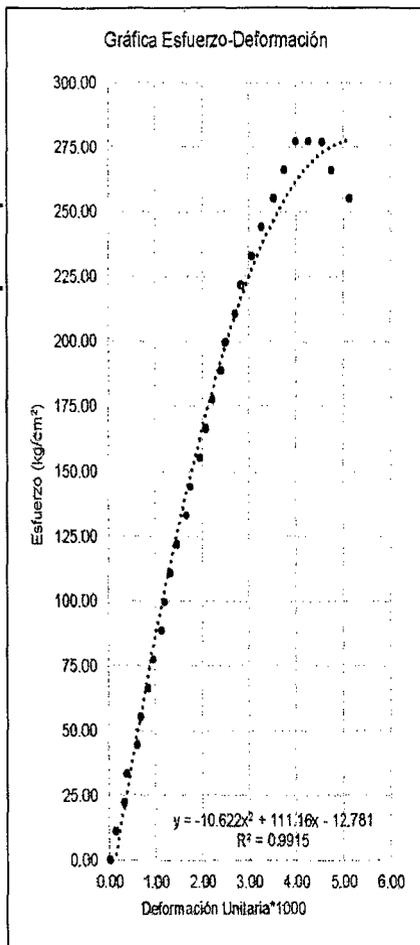


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-9.0471 X^2 + 107.1 X - 26.806$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.984$
ESF. ROTURA (kg/cm²):	279.24
MÓD. DE ELASTICIDAD:	250656.045
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-9.0471 X^2 + 102.47 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 8%
 COD. ESPÉCIMEN: C-8-1
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.15
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 180.267

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.04	0.13	11.09	14.12
4000	0.09	0.30	22.19	31.25
6000	0.11	0.36	33.28	37.94
8000	0.18	0.59	44.38	60.63
10000	0.20	0.66	55.47	66.91
12000	0.25	0.82	66.57	82.20
14000	0.29	0.95	77.66	94.02
16000	0.34	1.12	88.76	108.27
18000	0.36	1.18	99.85	113.82
20000	0.40	1.32	110.95	124.62
22000	0.44	1.45	122.04	135.06
24000	0.50	1.64	133.14	150.03
26000	0.53	1.74	144.23	157.21
28000	0.59	1.94	155.33	170.93
30000	0.63	2.07	166.42	179.63
32000	0.67	2.20	177.51	187.95
34000	0.73	2.40	188.61	199.75
36000	0.76	2.50	199.70	206.34
38000	0.82	2.70	210.80	215.89
40000	0.86	2.83	221.89	222.47
42000	0.93	3.06	232.99	233.10
44000	0.99	3.26	244.08	241.31
46000	1.07	3.52	255.18	250.97
48000	1.14	3.75	266.27	258.22
50000	1.21	3.98	277.37	264.34
50040	1.29	4.24	277.59	269.95
50000	1.38	4.54	277.37	274.51
48000	1.44	4.74	266.27	276.51
46000	1.56	5.13	255.18	278.04

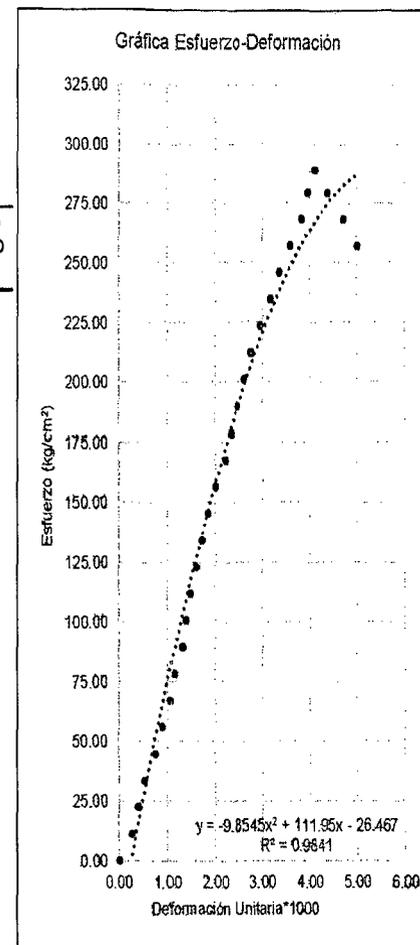


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-10.622 X^2 + 111.16 X - 12.781$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9915$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	277.59
MÓD. DE ELASTICIDAD:	249915.007
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-10.622 X^2 + 108.69 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 8%
 COD. ESPÉCIMEN: C-8-2
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.1
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 179.079

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.08	0.26	11.17	27.53
4000	0.12	0.39	22.34	40.78
6000	0.16	0.53	33.50	53.69
8000	0.23	0.76	44.67	75.46
10000	0.27	0.89	55.84	87.43
12000	0.32	1.05	67.01	101.91
14000	0.35	1.15	78.18	110.35
16000	0.40	1.32	89.35	123.98
18000	0.42	1.38	100.51	129.28
20000	0.45	1.48	111.68	137.08
22000	0.49	1.61	122.85	147.17
24000	0.52	1.71	134.02	154.52
26000	0.56	1.84	145.19	164.01
28000	0.61	2.01	156.36	175.41
30000	0.67	2.20	167.52	186.37
32000	0.71	2.34	178.69	196.59
34000	0.75	2.47	189.86	204.47
36000	0.79	2.60	201.03	212.00
38000	0.84	2.76	212.20	220.94
40000	0.90	2.96	223.37	230.96
42000	0.96	3.16	234.53	240.22
44000	1.02	3.36	245.70	248.71
46000	1.09	3.59	256.87	257.64
48000	1.16	3.82	268.04	265.53
50000	1.20	3.95	279.21	269.57
51730	1.25	4.11	288.87	274.13
50000	1.33	4.38	279.21	280.33
48000	1.43	4.70	268.04	286.16
46000	1.52	5.00	256.87	289.58

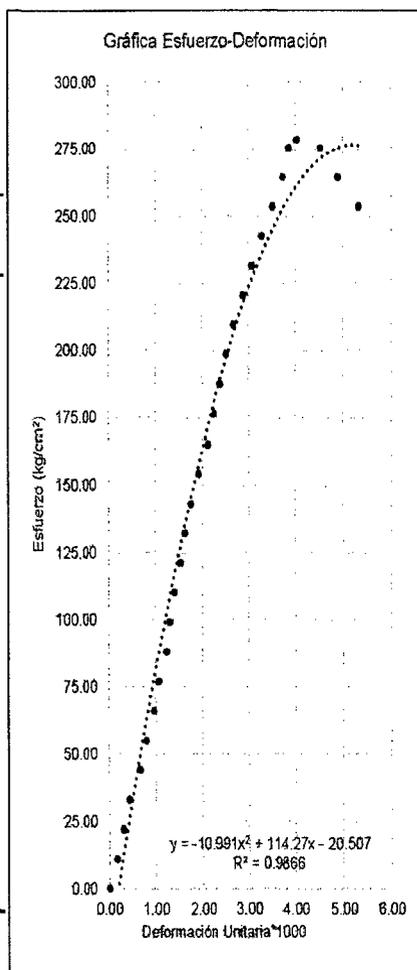


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-9.8545 X^2 + 111.95 X - 26.467$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9841$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	288.87
MÓD. DE ELASTICIDAD:	254941.543
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-9.8545 X^2 + 107.19 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 8%
 COD. ESPÉCIMEN: C-8-3
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 303
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.05	0.17	11.02	17.89
4000	0.09	0.30	22.04	31.78
6000	0.13	0.43	33.07	45.28
8000	0.20	0.66	44.09	67.99
10000	0.24	0.79	55.11	80.43
12000	0.29	0.98	66.13	95.46
14000	0.32	1.08	77.15	104.18
16000	0.37	1.22	88.17	118.25
18000	0.39	1.29	99.20	123.70
20000	0.42	1.39	110.22	131.71
22000	0.46	1.52	121.24	142.06
24000	0.49	1.62	132.28	149.56
26000	0.53	1.75	143.28	159.23
28000	0.58	1.91	154.31	170.78
30000	0.64	2.11	165.33	183.85
32000	0.68	2.24	176.35	192.08
34000	0.72	2.38	187.37	199.93
36000	0.76	2.51	198.39	207.40
38000	0.81	2.67	209.41	216.19
40000	0.87	2.87	220.44	226.96
42000	0.93	3.07	231.46	234.86
44000	0.99	3.27	242.48	242.90
46000	1.06	3.50	253.50	251.20
48000	1.13	3.73	264.52	258.32
50000	1.17	3.86	275.55	261.86
50550	1.22	4.03	278.58	266.74
50000	1.37	4.52	275.55	273.82
48000	1.48	4.88	264.52	276.31
46000	1.61	5.31	253.50	275.53

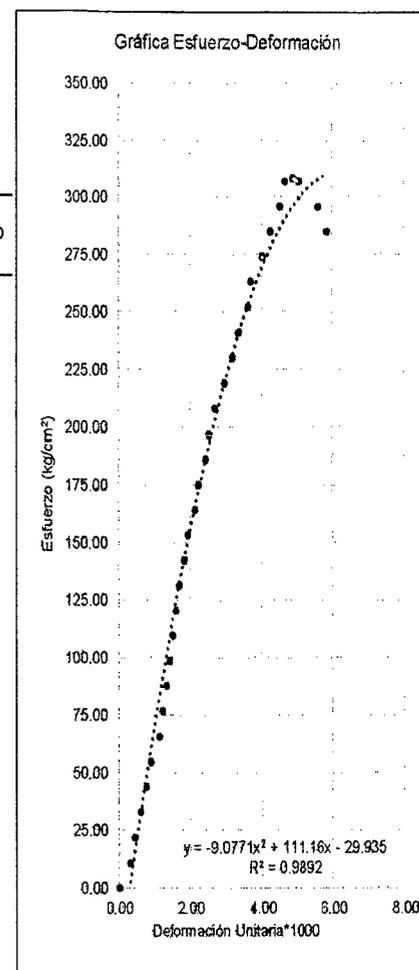


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-10.991 X^2 + 114.27 X - 20.507$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9866$
ESF. ROTURA (kg/cm²):	278.58
MOD. DE ELASTICIDAD:	250359.069
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-10.991 X^2 + 110.25 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 8%
 COD. ESPÉCIMEN: C-8-4
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.25
 ALTURA (mm): 305
 ÁREA (cm²): 182.654

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.09	0.30	10.95	30.54
4000	0.13	0.43	21.90	43.60
6000	0.18	0.59	32.85	59.49
8000	0.23	0.75	43.80	74.89
10000	0.27	0.89	54.75	86.86
12000	0.34	1.11	65.70	107.06
14000	0.37	1.21	76.65	115.42
16000	0.40	1.31	87.60	123.61
18000	0.43	1.41	98.55	131.62
20000	0.48	1.51	109.50	139.46
22000	0.49	1.61	120.45	147.12
24000	0.52	1.70	131.40	154.81
26000	0.56	1.84	142.35	164.31
28000	0.59	1.93	153.30	171.39
30000	0.65	2.13	164.24	185.01
32000	0.68	2.23	175.19	191.56
34000	0.74	2.43	186.14	204.13
36000	0.77	2.52	197.09	210.15
38000	0.82	2.69	208.04	219.80
40000	0.90	2.95	218.99	234.22
42000	0.97	3.18	229.94	245.81
44000	1.02	3.34	240.89	253.50
46000	1.10	3.61	251.84	264.80
48000	1.12	3.67	262.79	267.43
50000	1.22	4.00	273.74	279.40
52000	1.29	4.23	284.69	288.62
54000	1.37	4.49	295.64	293.70
56000	1.41	4.62	306.59	298.77
56270	1.48	4.85	308.07	301.40
56000	1.53	5.02	306.59	304.12
54000	1.70	5.57	295.64	309.71
52000	1.78	5.84	284.69	310.39

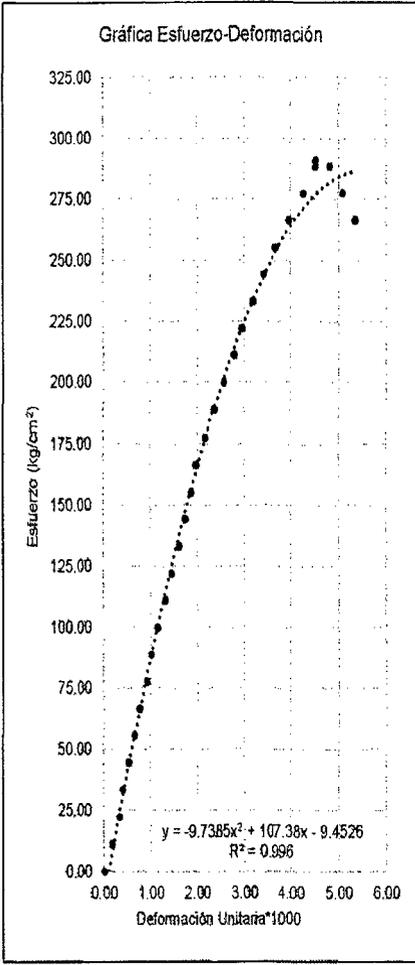


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-9.0771 X^2 + 111.16 X - 29.935$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9892$
ESF. ROTURA (kg/cm²):	308.07
MOD. DE ELASTICIDAD:	263278.220
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-9.0771 X^2 + 106.16 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 8%
 COD. ESPÉCIMEN: C-8-5
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.15
 ALTURA (mm): 305
 ÁREA (cm²): 180.267

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.05	0.16	11.09	17.06
4000	0.10	0.33	22.19	33.59
6000	0.12	0.39	33.28	40.06
8000	0.16	0.52	44.38	52.74
10000	0.20	0.66	55.47	65.09
12000	0.23	0.75	66.57	74.13
14000	0.28	0.92	77.66	88.78
16000	0.31	1.02	88.76	97.32
18000	0.35	1.15	99.85	108.42
20000	0.40	1.31	110.95	121.81
22000	0.44	1.44	122.04	132.15
24000	0.49	1.61	133.14	144.60
26000	0.53	1.74	144.23	154.18
28000	0.57	1.87	155.33	163.43
30000	0.60	1.97	166.42	170.15
32000	0.66	2.16	177.51	183.02
34000	0.72	2.36	188.61	195.14
36000	0.78	2.56	199.70	206.50
38000	0.85	2.79	210.80	218.80
40000	0.90	2.96	221.89	228.96
42000	0.97	3.18	232.99	237.51
44000	1.04	3.41	244.08	247.03
46000	1.12	3.67	255.18	256.65
48000	1.21	3.97	266.27	265.87
50000	1.30	4.26	277.37	273.40
52000	1.38	4.52	288.46	278.66
52440	1.38	4.52	290.90	278.66
52000	1.47	4.82	288.46	282.99
50000	1.55	5.08	277.37	285.41
48000	1.63	5.34	266.27	286.49

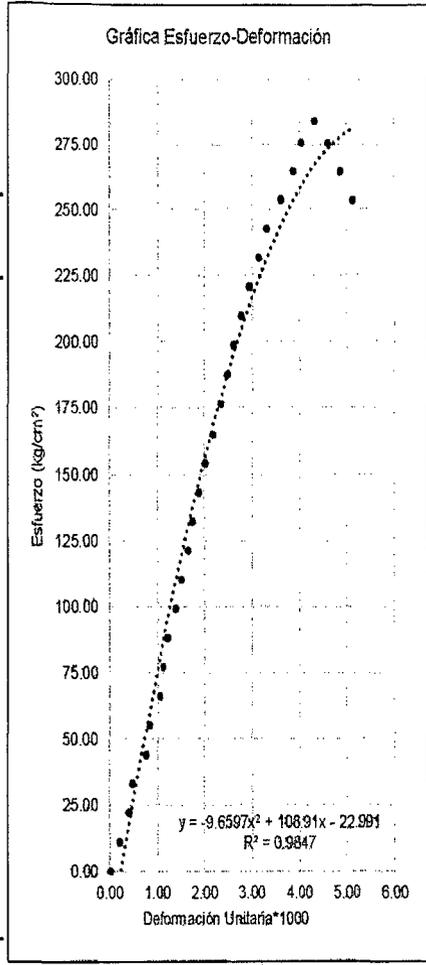


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-9.7385 X^2 + 107.38 X - 9.4526$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.996$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	290.90
MOD. DE ELASTICIDAD:	255837.986
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-9.7385 X^2 + 105.65 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 8%
 COD. ESPÉCIMEN: C-8-6
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 303
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.06	0.20	11.02	20.36
4000	0.12	0.40	22.04	39.87
6000	0.14	0.46	33.07	48.34
8000	0.23	0.76	44.09	73.95
10000	0.25	0.83	55.11	79.85
12000	0.32	1.06	66.13	99.86
14000	0.34	1.12	77.15	105.38
16000	0.37	1.22	88.17	113.51
18000	0.42	1.39	99.20	126.64
20000	0.46	1.52	110.22	136.77
22000	0.50	1.65	121.24	146.55
24000	0.53	1.75	132.26	153.68
26000	0.57	1.88	143.28	162.87
28000	0.61	2.01	154.31	171.74
30000	0.66	2.18	165.33	182.34
32000	0.71	2.34	176.35	192.42
34000	0.75	2.48	187.37	200.10
36000	0.79	2.61	198.39	207.45
38000	0.84	2.77	209.41	216.16
40000	0.89	2.94	220.44	224.35
42000	0.95	3.14	231.46	233.47
44000	1.00	3.30	242.48	240.50
46000	1.09	3.60	253.50	251.83
48000	1.17	3.86	264.52	260.46
50000	1.22	4.03	275.55	265.17
51560	1.31	4.32	284.14	272.33
50000	1.39	4.59	275.55	277.26
48000	1.47	4.85	264.52	280.84
46000	1.55	5.12	253.50	283.08

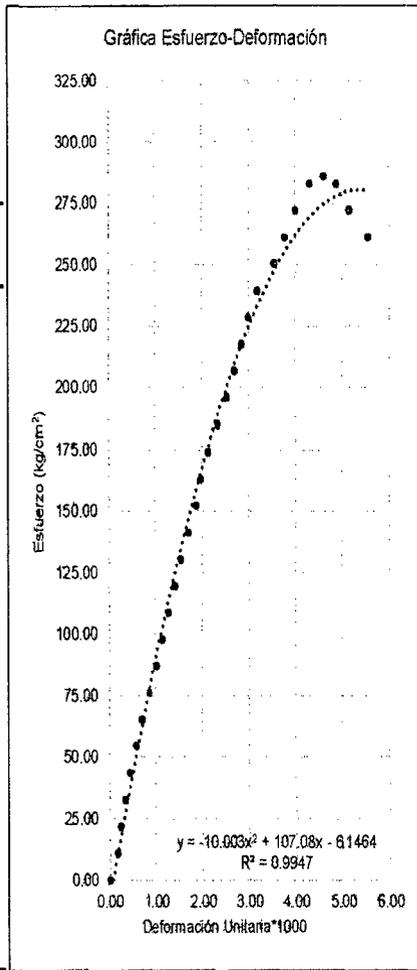


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-9.6597 X^2 + 108.91 X - 22.991$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9847$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	284.14
MOD. DE ELASTICIDAD:	252847.803
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-9.6597 X^2 + 104.75 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 10%
 COD. ESPÉCIMEN: C-10-1
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 305
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.05	0.16	10.88	17.10
4000	0.07	0.23	21.76	23.78
6000	0.10	0.33	32.63	33.65
8000	0.13	0.43	43.51	43.33
10000	0.17	0.56	54.39	55.93
12000	0.21	0.69	65.27	68.19
14000	0.26	0.85	76.15	83.03
16000	0.31	1.02	87.03	97.33
18000	0.35	1.15	97.90	108.38
20000	0.39	1.28	108.78	119.09
22000	0.43	1.41	119.66	129.46
24000	0.47	1.54	130.54	139.48
26000	0.52	1.70	141.42	151.52
28000	0.57	1.87	152.29	163.02
30000	0.60	1.97	163.17	169.67
32000	0.65	2.13	174.05	180.31
34000	0.71	2.33	184.93	192.37
36000	0.77	2.52	195.81	203.66
38000	0.82	2.69	206.69	212.48
40000	0.87	2.85	217.56	220.76
42000	0.91	2.98	228.44	228.99
44000	0.97	3.18	239.32	235.70
46000	1.08	3.54	250.20	249.66
48000	1.15	3.77	261.08	257.18
50000	1.22	4.00	271.96	263.65
52000	1.31	4.30	282.83	270.43
52570	1.40	4.59	285.93	275.46
52000	1.48	4.85	282.83	278.46
50000	1.57	5.15	271.96	280.20
48000	1.69	5.54	261.08	279.81

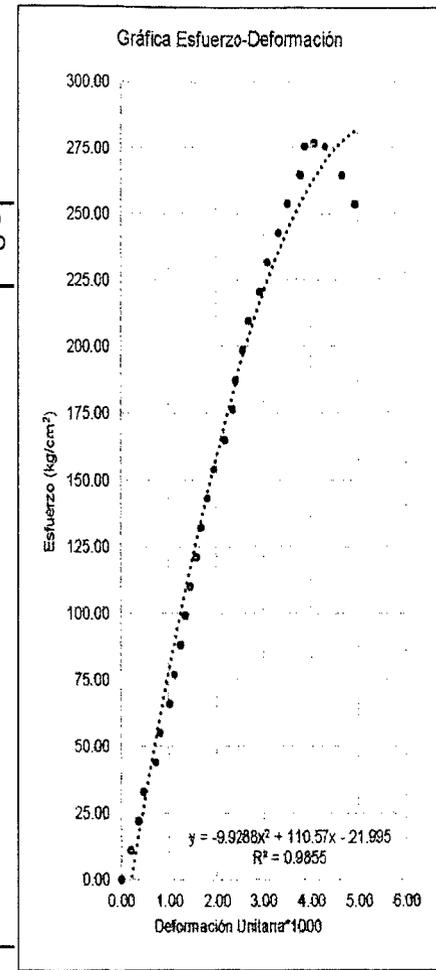


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-10.003 X^2 + 107.08 X - 6.1464$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9947$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	285.93
MOD. DE ELASTICIDAD:	253643.581
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-10.003 X^2 + 105.93 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 10%
 COD. ESPÉCIMEN: C-10-2
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 305
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.06	0.20	11.02	20.58
4000	0.11	0.36	22.04	37.14
6000	0.14	0.46	33.07	46.81
8000	0.22	0.72	44.09	71.69
10000	0.25	0.82	55.11	80.88
12000	0.31	1.02	66.13	98.04
14000	0.34	1.11	77.15	108.44
16000	0.38	1.25	88.17	117.33
18000	0.41	1.34	99.20	125.28
20000	0.44	1.44	110.22	133.04
22000	0.48	1.57	121.24	143.09
24000	0.51	1.67	132.26	150.40
26000	0.55	1.80	143.28	159.85
28000	0.59	1.93	154.31	168.95
30000	0.66	2.16	165.33	184.07
32000	0.71	2.33	176.35	194.22
34000	0.73	2.39	187.37	198.14
36000	0.75	2.56	198.39	207.64
38000	0.82	2.69	209.41	214.69
40000	0.89	2.92	220.44	226.36
42000	0.94	3.08	231.46	234.06
44000	1.01	3.31	242.48	243.95
46000	1.07	3.51	253.50	251.59
48000	1.15	3.77	264.52	260.58
50000	1.18	3.87	275.55	263.60
50270	1.24	4.07	277.03	269.06
50000	1.31	4.30	275.55	274.46
48000	1.42	4.66	264.52	280.84
46000	1.50	4.92	253.50	283.85

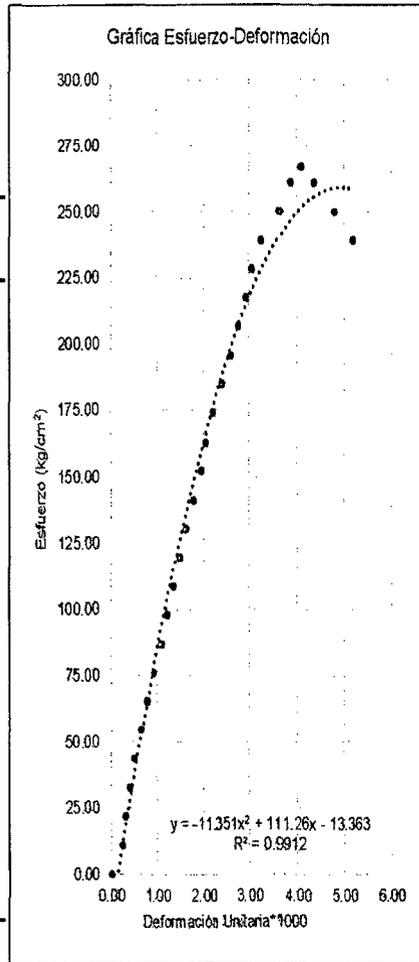


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-9.9288 X^2 + 110.57 X - 21.995$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9855$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	277.03
MOD. DE ELASTICIDAD:	249664.718
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-9.9288 X^2 + 106.55 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 10%
 COD. ESPÉCIMEN: C-10-3
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.07	0.23	10.88	24.38
4000	0.09	0.30	21.78	31.13
6000	0.12	0.39	32.63	41.06
8000	0.15	0.49	43.51	50.77
10000	0.19	0.63	54.39	63.38
12000	0.23	0.76	65.27	75.59
14000	0.28	0.92	76.15	90.30
16000	0.33	1.09	87.03	104.40
18000	0.37	1.22	97.90	118.24
20000	0.41	1.35	108.78	125.68
22000	0.45	1.48	119.68	135.74
24000	0.49	1.61	130.54	148.39
26000	0.54	1.78	141.42	158.91
28000	0.59	1.94	152.29	167.82
30000	0.62	2.04	163.17	174.07
32000	0.67	2.20	174.05	183.99
34000	0.73	2.40	184.93	193.09
36000	0.79	2.60	195.81	203.30
38000	0.84	2.76	206.69	213.13
40000	0.89	2.93	217.58	220.36
42000	0.93	3.06	228.44	226.69
44000	0.99	3.28	239.32	232.96
46000	1.10	3.62	250.20	243.98
48000	1.17	3.85	261.08	249.44
49100	1.24	4.08	267.06	253.71
48000	1.32	4.34	261.08	257.10
46000	1.45	4.77	250.20	259.27
44000	1.58	5.20	239.32	257.29

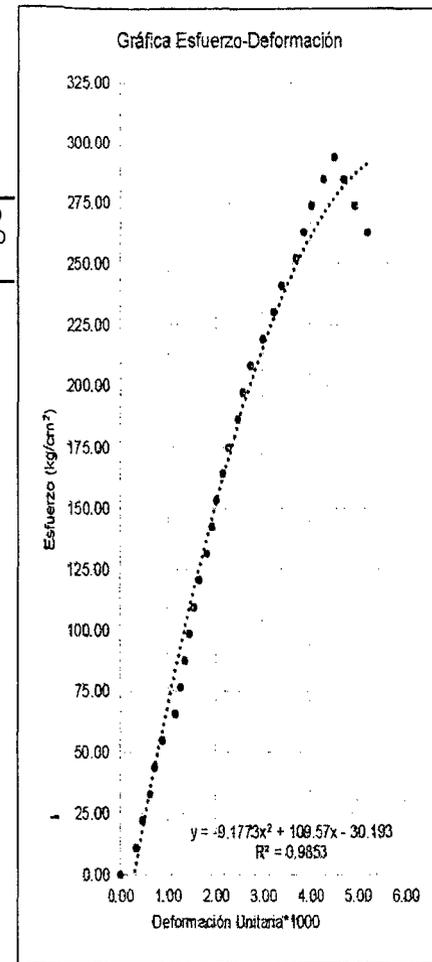


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-11.351 x^2 + 111.26 x - 13.363$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9912$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	267.06
MÓD. DE ELASTICIDAD:	245129.531
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-11.351 x^2 + 108.50 x + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 20%
 COD. ESPÉCIMEN: C-20-1
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.25
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 182.654

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.10	0.33	10.95	33.35
4000	0.14	0.48	21.90	46.13
6000	0.19	0.63	32.85	61.66
8000	0.22	0.72	43.80	70.74
10000	0.27	0.89	54.75	85.48
12000	0.35	1.15	65.70	108.02
14000	0.38	1.25	76.65	116.15
16000	0.41	1.35	87.60	124.10
18000	0.44	1.45	98.55	131.87
20000	0.47	1.55	109.50	139.46
22000	0.50	1.64	120.45	146.87
24000	0.55	1.81	131.40	158.82
26000	0.58	1.91	142.35	165.76
28000	0.61	2.01	153.30	172.52
30000	0.65	2.14	164.24	181.25
32000	0.69	2.27	175.19	189.66
34000	0.73	2.47	186.14	201.88
36000	0.78	2.57	197.09	207.43
38000	0.83	2.73	208.04	216.80
40000	0.91	2.99	218.99	230.25
42000	0.98	3.22	229.94	241.15
44000	1.03	3.39	240.89	248.34
46000	1.12	3.68	251.84	260.03
48000	1.17	3.85	262.79	265.83
50000	1.22	4.01	273.74	271.13
52000	1.30	4.28	284.69	278.58
53720	1.37	4.51	294.11	284.06
52000	1.43	4.70	284.69	287.98
50000	1.50	4.93	273.74	291.85
48000	1.58	5.20	262.79	294.85

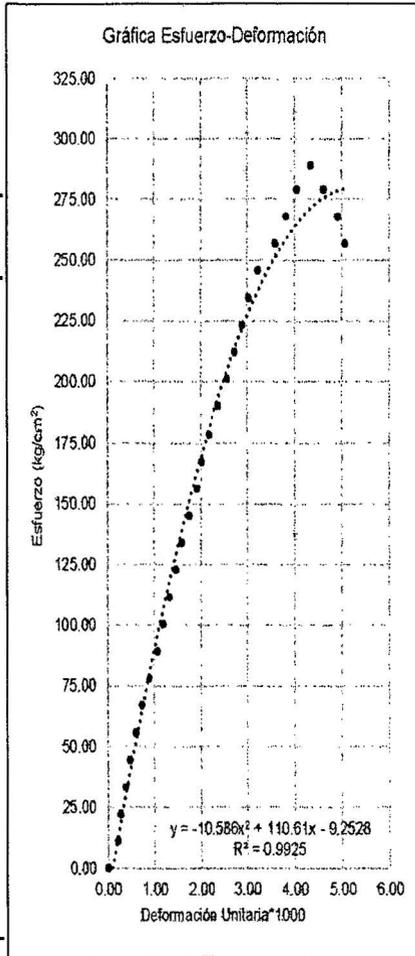


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-9.1773 x^2 + 109.57 x - 30.193$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9853$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	294.11
MÓD. DE ELASTICIDAD:	257243.540
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-9.1773 x^2 + 104.39 x + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 20%
 COD. ESPÉCIMEN: C-20-2
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.1
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 179.079

CARGA (Kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.06	0.20	11.17	21.07
4000	0.08	0.26	22.34	27.90
6000	0.11	0.36	33.50	37.99
8000	0.14	0.46	44.67	47.87
10000	0.18	0.59	55.84	60.72
12000	0.22	0.72	67.01	73.21
14000	0.27	0.89	78.18	88.30
16000	0.32	1.05	89.35	102.82
18000	0.36	1.18	100.51	114.03
20000	0.40	1.32	111.68	124.86
22000	0.44	1.45	122.85	135.33
24000	0.48	1.58	134.02	145.44
26000	0.53	1.74	145.19	157.55
28000	0.58	1.91	156.36	169.09
30000	0.61	2.01	167.52	175.74
32000	0.66	2.17	178.69	186.37
34000	0.72	2.37	189.86	198.36
36000	0.78	2.57	201.03	209.53
38000	0.83	2.73	212.20	218.21
40000	0.88	2.89	223.37	228.31
42000	0.92	3.03	234.53	232.38
44000	0.98	3.22	245.70	240.80
46000	1.09	3.59	256.87	254.10
48000	1.16	3.82	268.04	261.12
50000	1.23	4.05	279.21	267.01
51750	1.32	4.34	288.98	272.94
50000	1.40	4.61	279.21	276.65
48000	1.49	4.90	268.04	279.08
46000	1.54	5.07	256.87	279.62

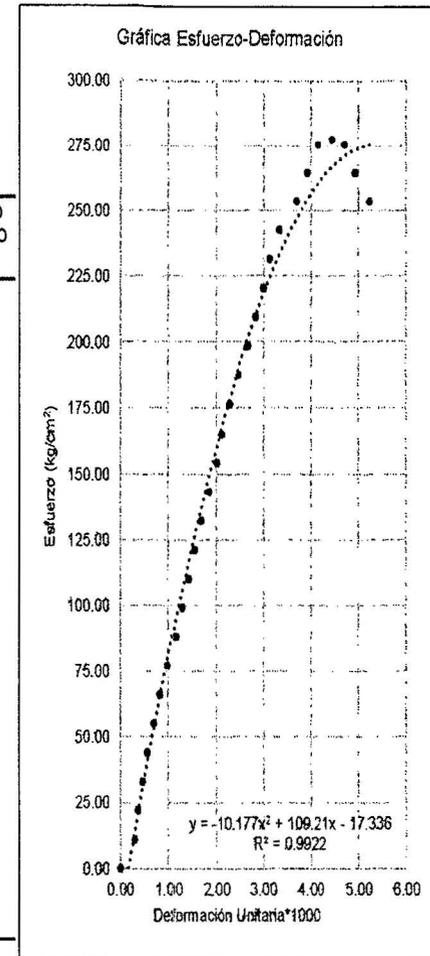


ECUACION (ESFUERZO):	$-10.586 X^2 + 110.61 X - 9.2528$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9925$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	288.98
MÓD. DE ELASTICIDAD:	254990.822
ECUACION CORREGIDA:	$-10.586 X^2 + 108.82 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

ADICIÓN LHF: 20%
 COD. ESPÉCIMEN: C-20-3
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA (Kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.09	0.30	11.02	30.47
4000	0.11	0.36	22.04	37.00
6000	0.14	0.46	33.07	46.83
8000	0.17	0.56	44.09	56.05
10000	0.21	0.69	55.11	68.32
12000	0.25	0.82	66.13	80.23
14000	0.30	0.99	77.15	94.62
16000	0.35	1.15	88.17	108.47
18000	0.39	1.28	99.20	119.15
20000	0.43	1.41	110.22	129.47
22000	0.47	1.55	121.24	139.45
24000	0.51	1.68	132.28	149.07
26000	0.56	1.84	143.28	160.80
28000	0.61	2.01	154.31	171.58
30000	0.64	2.11	165.33	177.90
32000	0.69	2.27	176.35	188.00
34000	0.76	2.47	187.37	199.40
36000	0.81	2.66	198.39	210.00
38000	0.86	2.83	209.41	218.22
40000	0.91	2.99	220.44	225.90
42000	0.95	3.13	231.46	231.65
44000	1.01	3.32	242.48	239.60
46000	1.12	3.68	253.50	252.13
48000	1.19	3.91	264.52	258.72
50000	1.26	4.14	275.55	264.22
50360	1.35	4.44	277.53	269.72
50000	1.43	4.70	275.55	273.10
48000	1.50	4.93	264.52	274.91
46000	1.59	5.23	253.50	275.64

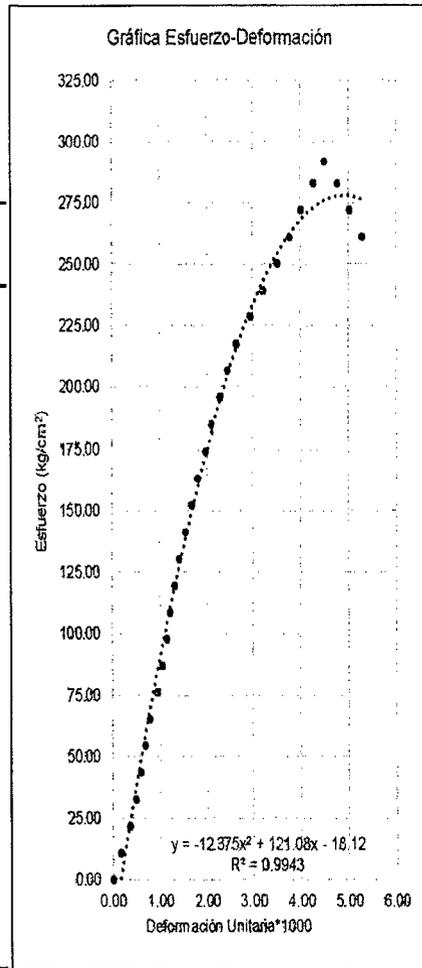


ECUACION (ESFUERZO):	$-10.177 X^2 + 109.21 X - 17.336$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9922$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	277.53
MÓD. DE ELASTICIDAD:	249888.109
ECUACION CORREGIDA:	$-10.177 X^2 + 105.93 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 30%
 COD. ESPÉCIMEN: C-30-1
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 305
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.05	0.16	10.88	18.90
4000	0.11	0.36	21.76	40.70
6000	0.15	0.49	32.63	54.70
8000	0.18	0.59	43.51	84.93
10000	0.21	0.69	54.39	74.91
12000	0.24	0.79	65.27	84.65
14000	0.29	0.95	76.15	100.36
16000	0.32	1.05	87.03	109.47
18000	0.35	1.15	97.90	118.33
20000	0.37	1.21	108.78	124.11
22000	0.40	1.31	119.66	132.57
24000	0.43	1.41	130.54	140.60
26000	0.47	1.54	141.42	151.40
28000	0.51	1.67	152.29	161.57
30000	0.55	1.80	163.17	171.32
32000	0.60	1.97	174.05	182.90
34000	0.64	2.10	184.93	191.69
36000	0.70	2.30	195.81	204.07
38000	0.75	2.46	206.69	213.66
40000	0.81	2.66	217.56	224.28
42000	0.90	2.95	228.44	238.43
44000	0.98	3.21	239.32	249.19
46000	1.07	3.51	250.20	259.27
48000	1.15	3.77	261.08	266.41
50000	1.22	4.00	271.96	271.27
52000	1.30	4.26	282.83	275.22
53640	1.37	4.49	291.75	277.29
52000	1.45	4.75	282.83	278.05
50000	1.53	5.02	271.96	277.10
48000	1.61	5.28	261.08	274.46

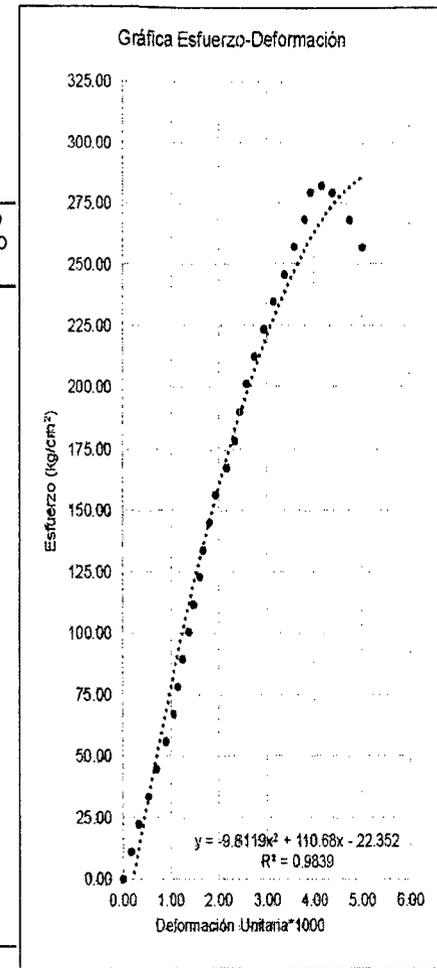


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-12.375 X^2 + 121.08 X - 18.12$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9943$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	291.75
MOD. DE ELASTICIDAD:	256211.885
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-12.375 X^2 + 117.32 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 30%
 COD. ESPÉCIMEN: C-30-2
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.1
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 179.079

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.05	0.16	11.17	17.27
4000	0.10	0.33	22.34	34.02
6000	0.16	0.53	33.50	53.41
8000	0.21	0.69	44.67	68.99
10000	0.27	0.89	55.84	86.98
12000	0.32	1.05	67.01	101.39
14000	0.35	1.15	78.18	109.78
16000	0.36	1.25	89.35	117.97
18000	0.42	1.36	100.51	128.61
20000	0.45	1.46	111.68	136.36
22000	0.49	1.61	122.85	146.40
24000	0.51	1.68	134.02	151.30
26000	0.55	1.81	145.19	160.63
28000	0.59	1.94	156.36	170.02
30000	0.66	2.17	167.52	185.29
32000	0.71	2.34	178.69	195.55
34000	0.74	2.43	189.86	201.46
36000	0.78	2.57	201.03	209.04
38000	0.83	2.73	212.20	218.03
40000	0.89	2.93	223.37	228.12
42000	0.95	3.13	234.53	237.45
44000	1.02	3.36	245.70	247.37
46000	1.08	3.55	256.87	255.04
48000	1.15	3.78	268.04	263.02
50000	1.19	3.91	279.21	267.12
50510	1.26	4.14	282.05	273.47
50000	1.33	4.38	279.21	278.78
48000	1.44	4.74	268.04	285.02
46000	1.52	5.00	256.87	287.94

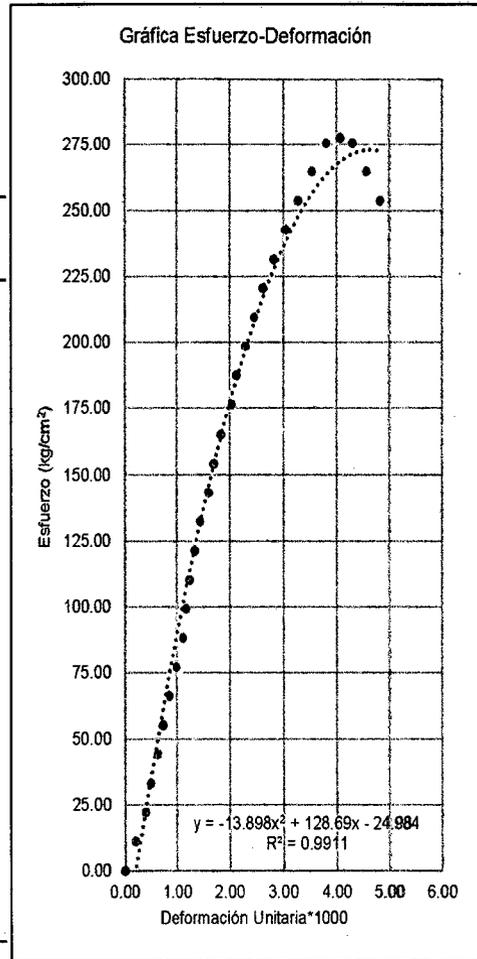


ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-9.811 X^2 + 110.68 X - 22.352$
COEF. CORRELACION:	$R^2 = 0.9855$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	282.05
MOD. DE ELASTICIDAD:	251917.336
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-9.811 X^2 + 106.64 X + 0$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ADICIÓN LHF: 30%
 COD. ESPÉCIMEN: C-30-3
 CEMENTO: PACASMAYO TIPO I
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 305
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.06	0.20	11.02	23.69
4000	0.12	0.39	22.04	46.31
6000	0.15	0.49	33.07	57.22
8000	0.19	0.62	44.09	71.34
10000	0.22	0.72	55.11	81.62
12000	0.26	0.85	66.13	94.90
14000	0.30	0.98	77.15	107.71
16000	0.34	1.11	88.17	120.04
18000	0.36	1.18	99.20	126.03
20000	0.38	1.25	110.22	131.89
22000	0.41	1.34	121.24	140.47
24000	0.44	1.44	132.26	148.77
26000	0.49	1.61	143.28	162.02
28000	0.52	1.70	154.31	169.61
30000	0.56	1.84	165.33	179.31
32000	0.62	2.03	176.35	192.96
34000	0.65	2.13	187.37	199.38
36000	0.70	2.30	198.39	209.49
38000	0.75	2.46	209.41	218.85
40000	0.80	2.62	220.44	227.47
42000	0.86	2.82	231.46	236.82
44000	0.93	3.05	242.48	246.37
46000	1.00	3.28	253.50	254.45
48000	1.08	3.54	264.52	261.90
50000	1.16	3.80	275.55	267.44
50340	1.24	4.07	277.42	271.06
50000	1.31	4.30	275.55	272.66
48000	1.39	4.56	264.52	272.70
46000	1.47	4.82	253.50	270.83



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-13.898 X^2 + 128.69 X + -24.984$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9911$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	277.42
MÓD. DE ELASTICIDAD:	249838.484
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-13.898 X^2 + 123.18 X + 0$

ANEXO III. Guía de toma de datos

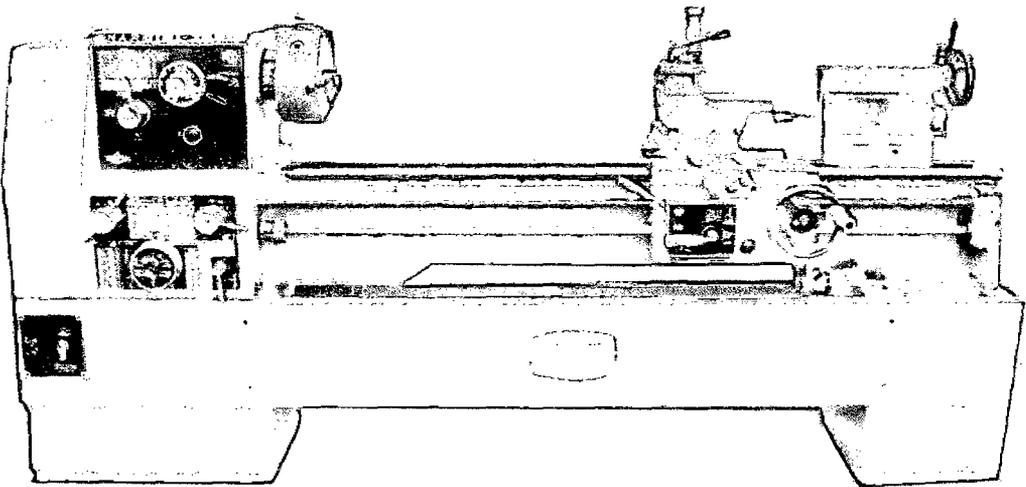
	ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DEL CONCRETO	FORMATO: GUÍA DE TOMA DE DATOS REVISIÓN: 0 FECHA: 21/03/2014
---	---	--

% ADOCIÓN DE UNIDADES: _____
 CÓDIGO DE LA MUESTRA: _____
 EDAD DE LAS PROPIETAS: _____
 FECHA DE ENSAYO: _____

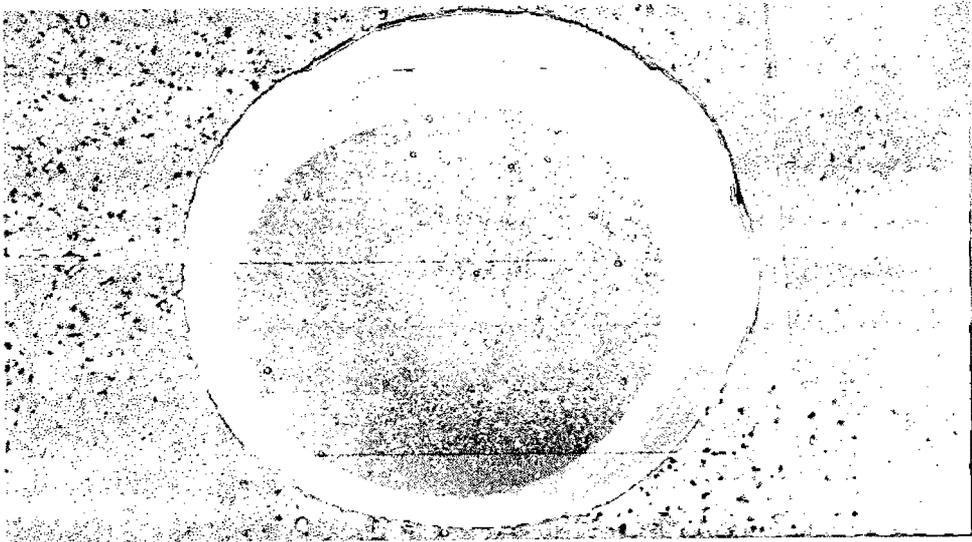
PROBETA N°	CÓDIGO	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø ₃ PROMEDIO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (Kg)	CARGA MÁXIMA (Kg)	DESCRIPCIÓN DE LA RUPTURA	OBSERVACIONES
1									
2									
3									
4									
5									
6									

Dr. Ing. HERNANDO BARRIENTAS
ASESOR
INGENIERO CHÁVEZ RAMÍRES
TESTEA

ANEXO IV. Panel fotográfico



Torno mecánico



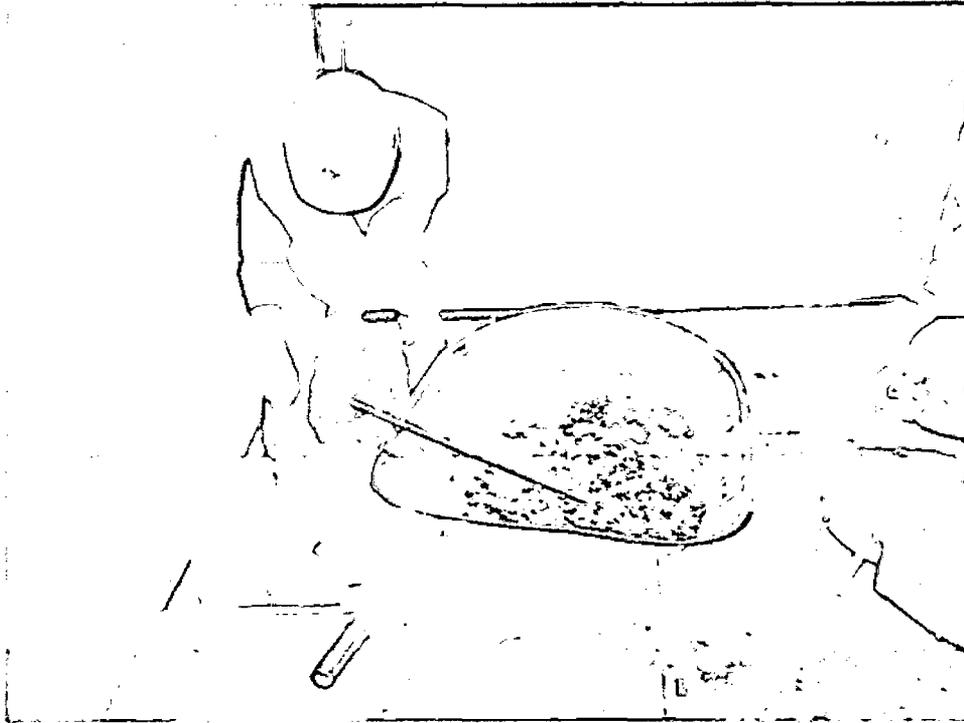
Limaduras de hierro fundido



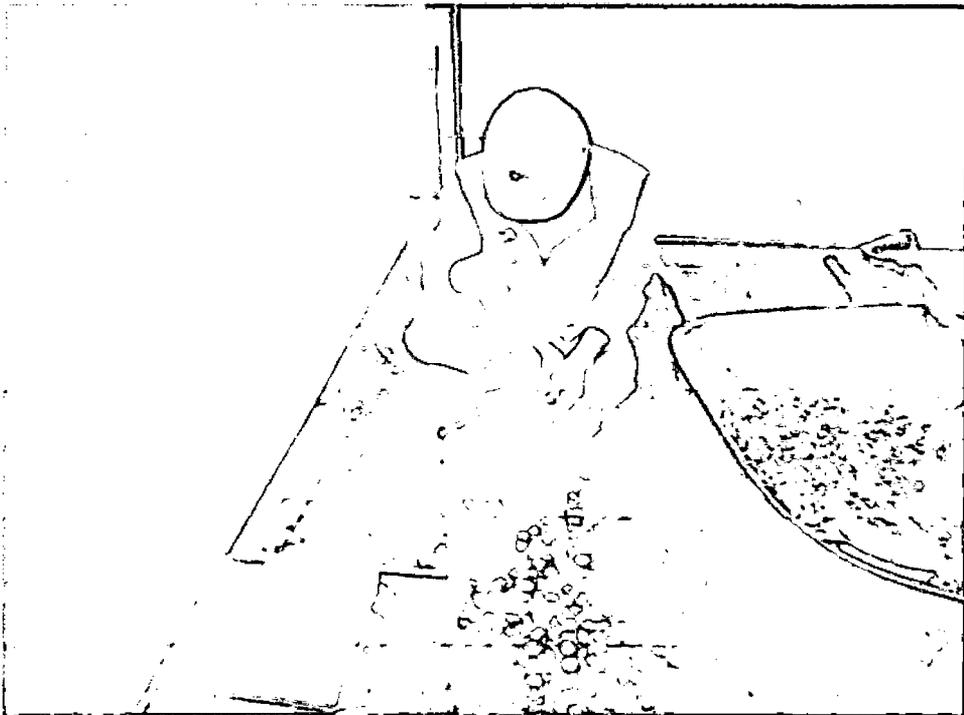
Preparación del concreto normal ($f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$)



Prueba de asentamiento (Slump)



Llenado de las probetas



Varillado de las probetas



Enrazado de las probetas



Peso de las limaduras de hierro fundido



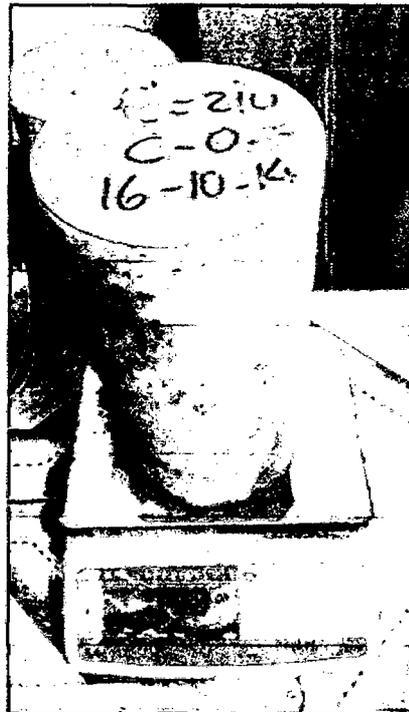
Preparación del concreto con adición de limaduras de hierro



Codificación de probetas



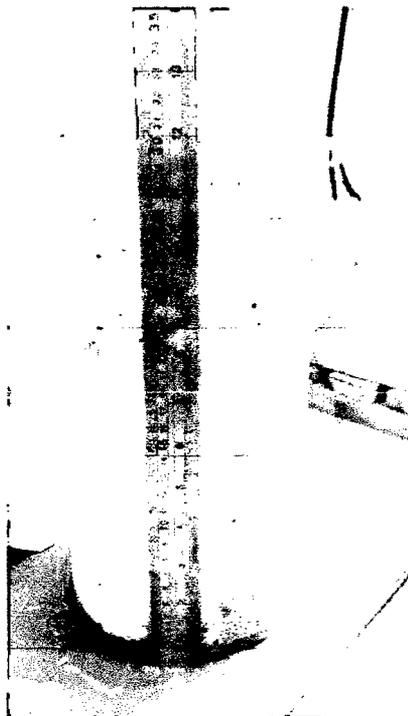
Curado de las probetas



Pesado de los especímenes antes del ensayo a compresión



Medición de los diámetros de los especímenes



Medición de la altura de los especímenes



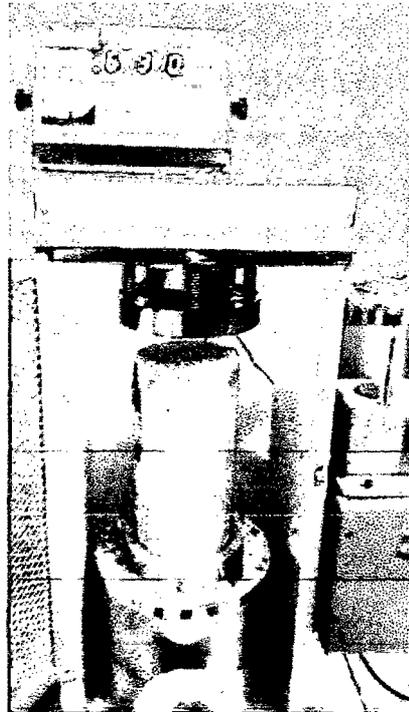
Colocación de la probeta en la prensa para el ensayo a compresión



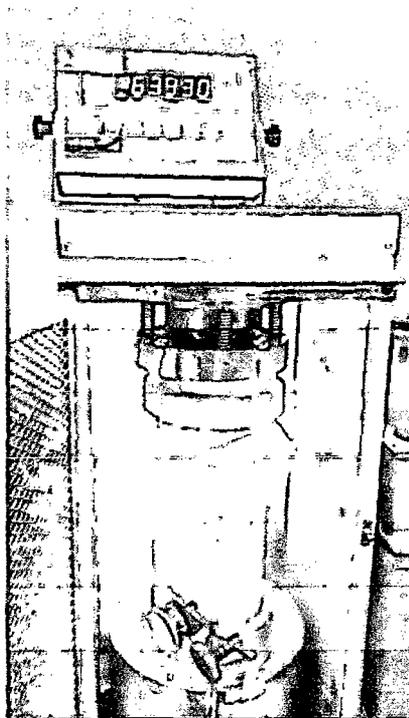
Medición de las deformaciones



Asesor de la tesis supervisando los ensayos de compresión



Valores máximos alcanzados en el ensayo de compresión



Valores máximos alcanzados en el ensayo de compresión



Falla de espécimen ensayado a compresión