

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“INFLUENCIA DEL USO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO  
FIBROMAC EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL  
CONCRETO  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ”.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

## **INGENIERO CIVIL**

**BACHILLER: CARLOS ALBERTO ZAMORA ESPARZA**

**ASESOR: Ing. MIGUEL MOSQUEIRA MORENO.**

**CAJAMARCA – PERU**

**2014**

## **DEDICATORIA**

### **A mis padres y Hermana:**

Julio Zamora Castro, Ethel Esparza Díaz y Paola González Esparza, por su incondicional apoyo y comprensión.

### **A mi esposa e hijo**

Vanessa Carpena Pajares y Saulo Zamora Carpena, que me apoyan en los momentos más difíciles, con su comprensión, cariño e inspiración.

## **AGRADECIMIENTO**

Hago llegar mi agradecimiento y reconocimiento a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, de manera especial a mi asesor Ing. Miguel Mosqueira Moreno y a mi asesor metodológico el Ing. Francisco Huamán Vidaurre por su apoyo y guía en la ejecución de la presente tesis.

También hago extenso este agradecimiento a todos los compañeros del curso de Actualización Profesional.

## INDICE

Contenido	Página
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE.....	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.....	4
2.1. Antecedentes de la investigación.....	4
2.2. Bases teóricas.....	5
2.2.1. Agregados.....	5
2.2.2. Agregado fino.....	5
2.2.3. Agregado grueso.....	6
2.2.4. Arena.....	9
2.2.5. Grava.....	9
2.2.6. Cemento.....	10
2.2.7. Aditivos.....	19
2.2.8. Características físicas de los agregados.....	21
2.2.9. Concreto.....	29
2.2.10. Diseño de mezclas:.....	38
2.2.11. Forma de tratamiento de datos.....	42
2.3. Definición de términos básicos.....	47
CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODO.....	51

<b>3.1. Procedimiento.....</b>	<b>51</b>
<b>3.2. Tratamiento.....</b>	<b>55</b>
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN RESULTADOS.....</b>	<b>58</b>
<b>4.1. Características físicas y mecánicas de los agregados.....</b>	<b>58</b>
<b>4.2. Resistencia y módulo de elasticidad del concreto.....</b>	<b>60</b>
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>68</b>
Cálculo propiedades físicas agregado fino.....	68
Cálculo propiedades físicas agregado grueso.....	72
Diseño de mezclas.....	76
Diagramas esfuerzo vs deformación unitaria.....	82
Panel fotográfico.....	102

## RESUMEN

Debido al crecimiento poblacional de la ciudad de Cajamarca tenemos un considerable avance en obras civiles que hacen de vital importancia la investigación y aplicación de tecnologías y materiales de construcción; enfocándonos en el tema de aditivos para el concreto, existe un gran crecimiento en nuestra localidad en el uso de dichos aditivos para mejorar la calidad de las obras. El objetivo de esta investigación es determinar la influencia del uso de fibras de Polipropileno Fibromac en la resistencia a compresión del concreto de  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ , elaborado con agregados de la cantera "La Banda" de Cajamarca. La recopilación de datos se realizó entre septiembre y noviembre del 2014, mediante ensayos de laboratorio de **especímenes de concreto elaborados con dosificaciones de fibras de polipropileno Fibromac de 0.3%, 0.7% y 1.0% del peso del cemento utilizado en la mezcla**. Mediante la rotura de las probetas que determinaron el porcentaje de mejora en la calidad del concreto. Para la dosificación del aditivo Fibromac (fibras de polipropileno) del 0.30 % del peso del cemento, se tiene un incremento del 9.74 % en la resistencia a compresión a los 21 días. Mientras que para las dosificaciones del 0.70 % y 1.00 % las variaciones en la resistencia a compresión son -1.68 % y 1.54 %, respectivamente, a los 21 días. De los resultados detallados, podemos concluir que la incorporación del aditivo Fibromac (fibras de polipropileno), no tiene un aumento considerable en la resistencia a compresión en un concreto de  $f'c=210\text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados de la cantera "La Banda" de Llacanora Cajamarca, en las dosis utilizadas; excepto en la de 0.30 % donde se observa un ligero incremento en la resistencia a compresión.

## ABSTRACT

Due to the population growth of the city of Cajamarca have considerable progress in civil Works underlaken vital research and application of technologies and materials, focusing on the theme of concrete additives, there is tremendous growth in our town in the use of these additives to improve the quality of works. The objective of this research is to determine the influence of the use of polypropylene fibers Fibromac in the compressive strength of concrete  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , made with aggregates quarry "La Banda" of Cajamarca. Data collection was conducted between September and November 2104. By laboratory tests of concrete specimens made with polypropylene fibers dosages Fibromac 0.30%, 0.70% and 1.00% by weight of cement used in the mixture. By breaking the samples that measured the percentage of improvement in the quality of concrete. For Fibromac additive dosage (polypropylene fibers) 0.30% by weight of cement, is and increase of 9.74 % in compressive strength at 21 days. Tools that for dosages of 0.70% and 1.00% variations in the compressive strength are -1.68 % and 1.54 % respectively, at 21 days. From the detailed results, we conclude that the incorporation of the additive Fibromac (polypropylene fibers), no significant increase in compressive strength of concrete  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  made with aggregates quarry "La Banda" Llacanora Cajamarca, in the doses used; except where 0.30 % was observed a slight increase in the compressive strength.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El concreto es un producto de gran uso a nivel mundial en la construcción civil, debido a sus características favorables; es de vital importancia que el ingeniero civil conozca todas sus propiedades para obtener un concreto de alta calidad.

El concreto es un producto moldeable a temperatura ambiente, lo que permite su adecuación a diferentes formas (trabajabilidad); además presenta una alta resistencia a la compresión, su elasticidad, gran adherencia con otros materiales, gran durabilidad, impermeabilidad y muchas otras propiedades que hacen del concreto un producto muy interesante para la construcción.

El concreto, por las propiedades antes mencionadas, es utilizado en la construcción de edificios, en la elaboración de pisos, muros, puentes, pavimentos, cimentaciones, etc. Es por eso que el ingeniero civil debe estar preparado para logra elaborar un concreto de alta calidad, seleccionando para ello los componentes adecuados (cemento, agregados, agua y aditivos); para lograr dicho cometido el ingeniero debe realizar un diseño de concreto económico de acuerdo a la necesidad, para lo cual deberá realizar los ensayos correspondientes debiendo interpretar los resultados de laboratorio para optimizar su trabajo.

Existe una amplia variedad de aditivos en el mercado, que mejoran las propiedades del concreto de acuerdo a la necesidad. Debido a que en la actualidad los aditivos vienen a ser un componente muy importante en la elaboración del concreto, considero de vital importancia enfocar mi proyecto de tesis en determinar la influencia en la resistencia a compresión, añadiendo 0.30%, 0.70% y 1.00% del peso del cemento utilizado en la mezcla; de fibras de polipropileno Fibromac en la elaboración de un concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

En resumen: la pregunta de la presente investigación, es: **¿Cuál es la influencia de las fibras de polipropileno Fibromac en la resistencia a compresión del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ?**



Tomando como **hipótesis**: La incorporación de 0.7% del peso del cemento utilizado en la mezcla, de fibras de polipropileno Fibromac, aumenta la resistencia a la compresión, en un 20% del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

La pregunta e hipótesis de la presente investigación, están justificados en que no existe una evaluación de la influencia de las fibras de polipropileno Fibromac en la resistencia a compresión en un concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , utilizando agregados de la cantera "La Banda" de la ciudad de Cajamarca.

Se desconocen los valores de resistencia a compresión, que alcanza el concreto reforzado con fibras de polipropileno con dosis mínima recomendada por fabricante (0.3%) y dosis superiores, que no excedan el 2.0%.

En consecuencia, existe la necesidad de conocer la influencia de dicho aditivo en el concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , elaborado con agregados de la cantera "La Banda" de Cajamarca, y contar con una información y datos confiables sobre la influencia de las fibras de polipropileno Fibromac, en la resistencia a la compresión.

La información que generará la investigación permitirá proponer resultados reales sobre el efecto de dicho aditivo sobre el concreto en la resistencia a compresión del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

Ésta información será de utilidad para todos los profesionales y no profesionales que trabajen con el concreto; así como, empresas e instituciones.

El alcance de la presente investigación es determinar la influencia del uso de las fibras de polipropileno Fibromac en la resistencia a compresión del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , elaborado con agregados de la cantera "La Banda" de Cajamarca; haciendo uso de cemento Portland tipo I Pacasmayo. La toma de datos se realizó entre octubre y noviembre del 2014, mediante ensayos de laboratorio de especímenes de concreto elaborados con dosificaciones de fibras de polipropileno Fibromac de 0.3%, 0.7% y 1.0% del peso del cemento utilizado en la mezcla.

**El objetivo general** de la presente investigación es: Determinar la influencia del uso de fibras de polipropileno Fibromac en la resistencia a compresión del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

**Objetivo específico**

- Determinar la influencia de las fibras de polipropileno Fibromac al 0.30%, 0.70% y 1.00% del peso del cemento, en un concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes teóricos de la investigación

Estudios realizados por Alhozaimy (1996) para evaluar las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno, en los que el porcentaje de fibras han variado entre 0.1 y 10 % del volumen. Algunos de estos resultados son contradictorios respecto a los efectos de las fibras de polipropileno en la resistencia a compresión y flexión del concreto.

Algunos estudios realizados por Hughes (1976) indican que la presencia de las fibras tiene efectos negativos en la resistencia a la compresión, aunque se alcanzan ligeros incrementos en la resistencia a flexión, cuando el contenido de fibras es relativamente alto. Otros estudios realizados por Mindness (1988) presentan efectos favorables de la adición de fibra sobre la tenacidad e incremento en la resistencia a compresión, del orden de 25%, cuando se emplea un porcentaje volumétrico de 0.5% de fibras de polipropileno.

Durante los últimos años se han realizado diversos estudios por Vidal (2006) donde del análisis estadístico de resistencia a la compresión se ha observado una gran dispersión de datos, se ha tenido el caso particular que para el concreto de  $210 \text{ kg/cm}^2$  con el contenido de fibras de polipropileno de  $1000 \text{ g/m}^3$  se observa un incremento de 11% en la resistencia a la compresión.

El uso de concreto reforzado con fibras ha pasado de la experimentación a pequeña escala a aplicaciones de rutina en plantas de prefabricados y en campo que incluye la colocación de muchos miles de metros cúbicos en todo el mundo. En la práctica actual de la construcción a la matriz de concreto se añaden fibras discontinuas en volúmenes relativamente bajos, usualmente en porcentajes menores a 2%, aunque lo más común es que varíe entre 0.1 y 0.7%.

El concreto con fibra se ha empleado en variadas aplicaciones siendo las más frecuentes en la construcción de pisos industriales de alto desempeño, pavimentos, cubiertas para puentes, concreto lanzado para la estabilización de

taludes, revestimiento de túneles, elementos estructurales prefabricados, bóvedas, entre otras.

## **2.2 Bases teóricas**

**2.2.1 Agregados.** Llamados también áridos, los cuales constituyen entre el 60% al 75% del volumen total de cualquier mezcla típica de concreto: Se definen como un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma Técnica Peruana 400.011 o la norma ASTM C 33.

Dependiendo de sus características y dimensiones la Norma Técnica Peruana clasifica y denomina a los agregados en:

**2.2.2 Agregado fino.** La norma NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, define como agregado fino al proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz 9.51 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz 0.074 mm (Nº200).

Según la norma NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, el agregado fino deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

Puede estar constituido de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente.

Deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.

En general, es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los límites de la norma NTP 400.037 o la norma ASTM C 33, según la tabla 1.1

Tabla 1.1. Granulometría del agregado fino (NTP 400.037)

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	95-100	95 – 100	89 – 100	89 – 100
2.36 mm N°8	80-100	80 – 100	65 – 100	80 – 100
1.18 mm N°16	50-85	50 – 85	45 – 100	70 – 100
0.60 mm N°30	25-60	25 – 60	25 – 80	55 – 100
0.30 mm N°50	10-30	10 – 30	5 – 48	5 – 70
0.15 mm N°100	2-10	2 – 10	0 - 12*	0 – 12

\* Incrementar a 5% para agregado fino triturado, excepto cuando se use para pavimentos.

El módulo de fineza del agregado fino se mantendrá dentro del límite de  $\pm 0.2$  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 agregado fino no deberá indicar presencia de materia orgánica cuando ella es determinada de acuerdo a los requisitos de la norma NTP 400.013 o la norma ASTM C 40.

Podrá emplearse agregado fino que no cumple con los requisitos de la norma NTP 400.013 o la norma ASTM C 40 siempre que:

- La coloración del agregado fino a usar en el ensayo se deba a la presencia de pequeñas partículas de carbón, lignito u otras partículas similares; o
- Realizado el ensayo, la resistencia a los siete días de morteros preparados con dicho agregado no sea menor del 95% de la resistencia de morteros similares preparados con otra porción de la misma muestra de agregado fino previamente lavada con una solución al 3% de hidróxido de sodio.

**2.2.3 Agregado grueso.** La norma NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75 mm (N ° 4). El agregado grueso podrá consistir de grava o piedra partida de origen natural o artificial. El agregado grueso empleado en la preparación de concretos livianos podrá ser natural o artificial.

Según La norma NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, el agregado grueso deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- ✓ Deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa.
- ✓ Las partículas deberán ser químicamente estables y deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.
- ✓ La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- ✓ 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.
- ✓ La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 ½" y no más del 6% del agregado que pasa la malla de ¼".
- ✓ Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño nominal máximo del agregado grueso sea el mayor que pueda ser económicamente disponible, siempre que él sea compatible con las dimensiones y características de la estructura. Se considera que, en ningún caso el tamaño nominal máximo del agregado no deberá ser mayor de:
  - Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados; o
  - Un tercio del peralte de las losas; o
- ✓ El agregado grueso empleado en concreto para pavimentos, en estructuras sometidas a procesos de erosión, abrasión o cavitación, no deberá tener una pérdida mayor del 50% en el ensayo de abrasión realizado de acuerdo a la norma NTP 400.019 y norma NTP 400.020, o la norma ASTM C 131.
- ✓ El lavado de las partículas de agregado grueso se deberá hacer con agua preferentemente potable. De no ser así, el agua empleada deberá estar libre de sales, materia orgánica, o sólidos en suspensión.
- ✓ Volviendo a la granulometría, en general el agregado grueso debe estar gradado dentro de los límites especificados en la norma NTP 400.037 o la norma ASTM C 33., tal como se detalla en la tabla 1.2.:

Tabla 1.2. Requisitos granulométricos del agregado grueso (NTP 400.037)

Nº A.S.T.M	TAMAÑO NOMINAL	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm 4"	90 mm 3.5"	75 mm 3"	63 mm 2.5"	50 mm 2"	37,5 mm 1.5"	25 mm 1"	19 mm ¾"	12,5 mm ½"	9,5 mm 3/8"	4,75 mm Nº4	2,36 mm Nº8	1,18 mm Nº16	
1	90 a 37.5 mm (3 ½" a 1 ½")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	63 a 37.5 mm (2 ½" a 1 ½")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	50 a 25 mm (2" a 1")				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
357	50 a 25 mm (2" a Nº4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	37.5 a 19 mm (1 ½" a ¾")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5				
467	37.5 a 4.75 mm (1 ½" a Nº4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	25 a 12.5 mm (1" a ½")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	25 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 a 4.75 mm (1" a Nº4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19 a 9.5 mm (¾" a 3/8")							100	90 a 10	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19 a 4.75 mm (¾" a Nº4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	12.5 a 4.75 mm (½" a Nº4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9.5 a 2.36 mm (3/8" a Nº8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	

#### 2.2.4 Arena.

La norma NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, define a la arena como el agregado fino proveniente de la desintegración natural de las rocas.

También se define la arena como el conjunto de partículas o granos de rocas, reducidas por fenómenos mecánicos, naturales acumulados por los ríos y corrientes acuíferas en estratos aluviales y médanos o que se forman in situ por descomposición; o el conjunto de piedras producidas por acción mecánica artificial, las primeras son las arenas naturales; y las segundas, las arenas artificiales.

Se clasifican según la "Comisión de Normalización" de la Sociedad de Ingenieros del Perú como sigue:

Arena Fina	0.05 mm.	a	0.5 mm.
Arena Media:	0.5 mm.	a	2.0 mm.
Arena Gruesa:	2.0 mm.	a	5.0 mm.

#### 2.2.5 Grava.

La norma NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, define a la grava como el agregado grueso, proveniente de la desintegración natural de materiales pétreos, encontrándoseles corrientemente en canteras y lechos de ríos depositados en forma natural.

**Piedra triturada o chancada.** La norma NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, define como el agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas.

**Agregado global.** La norma NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, definen al agregado global como al material compuesto de grava y arena empleado en forma natural de extracción.

En lo que sea aplicable, se seguirá para el agregado global las recomendaciones correspondientes a los agregados fino y grueso:

- Deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas blandas o escamosas, sales, álcalis, materia orgánica u otras sustancias dañinas para el concreto. Su granulometría deberá estar



comprendida entre la malla de 2" como máximo y la malla N°100 como mínimo.

- Deberá ser manejado, transportado y almacenado de manera tal de garantizar la ausencia de contaminación con materiales que podrían reaccionar con el concreto.
- Deberá emplearse únicamente en la elaboración de concretos con resistencias en compresión, hasta de  $100 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días. El contenido mínimo de cemento será  $255 \text{ kg/m}^3$ .

### **2.2.6 Cemento.**

El cemento es una sustancia conglomerante que, mezclado con agregados pétreos (árido grueso o grava, más árido fino o arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica; la misma que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo consistencia pétreo, denominado hormigón o concreto. Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil, su principal función es la de aglutinante.

**Definición de cemento.** Rivva (2000), define como cemento a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables.

#### **Cemento portland (ASTM C 150)**

**Definición de cemento portland.** Según NTP 334.009, se define como un aglomerante hidráulico producido mediante la pulverización del Clínter, compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio con una adición de yeso u otro material durante la molienda.

#### **Fases de la fabricación de cemento portland.**

1. **Extracción de materia prima.** A partir de explotaciones a cielo abierto (Canteras), se extrae la piedra caliza, materia prima del proceso, mediante micro detonaciones controladas. También se extraen arcillas de tierras de cultivo, sin necesidad de utilizar explosivos.

**2. Trituración.** En la misma cantera, las rocas fragmentadas, que pueden llegar a medir un metro, se trituran en fases sucesivas para obtener fragmentos de hasta un máximo de 50 mm, que serán transportados a los parques o almacenes de pre homogenización

**3. Prehomogenización y almacenamiento de materia prima.** Partiendo de las calidades y proporciones más o menos variables de la piedra, tiene como finalidad conseguir desde el inicio del proceso una composición mineralógica uniforme y óptima.

**4. Molienda de crudo.** La mezcla del material prehomogenizado se transporta con medios mecánicos a los molinos de crudo, de barras o bolas de acero. La molienda tiene la finalidad de conseguir la composición química adecuada según el tipo de Clínter a producir y la granulometría deseada, con el mínimo consumo energético. Al mismo tiempo que la molienda se realiza el secado del material, aprovechando y conduciendo los gases residuales del horno hacia los molinos.

**5. Precalentamiento.** Antes de entrar en el horno, la harina de crudo homogenizada pasa por el intercambiador de ciclones de precalcificación.

**6. Clínterización.** La harina de crudo pasa a los hornos rotatorios de calcificación, formado por grandes cilindros de acero recubiertos internamente de material refractario. El crudo sufre una serie de transformaciones físicas y químicas a medida que aumenta la temperatura.

- ✓ Secado, hasta los 150°C.
- ✓ Deshidratación de la arcilla, hasta los 500°C.
- ✓ Descarbonatación, entre 550°C y 1100°C.
- ✓ Clínterización, entre 1300°C 1500°C.

**7. Enfriamiento.** El Clínter pasa de 1450°C a 140°C aproximadamente mediante parrillas de refrigeración o tubos satélite adosados al final del horno. Los gases liberados con el calor residual del horno se envían a los ciclones de precalcificación en un proceso continuo.

**8. Almacenamiento de clinker.** El Clinker se almacena en grandes hangares o silos antes de llegar a la fase final del proceso de producción.

**9. Yeso y adiciones.** Antes de efectuar la molienda del Clinker se dosifican cantidades variables de yeso (3-10%) para alargar el tiempo de fraguado del cemento, y de otras adiciones (filler calcáreo, cenizas, puzolanas, etc.), con lo que se obtiene diferentes calidades de cemento según los procesos de construcción a los que serán destinados.

**10. Molienda del cemento.** Una vez dosificados el yeso y las adiciones, los materiales se muelen y homogenizan dentro de molinos de bolas de acero, con lo que se obtiene el producto final: Cemento Portland.

**11. Expedición.** El proceso de distribución del cemento se realiza en sacos de papel krap extensible tipo Klupac, generalmente compuesto de 2 a 3 capas y con capacidad de 25 a 45 kg; o a granel, mediante camiones cisterna que suelen transportar entre 28 y 30 toneladas

**Compuestos principales del cemento portland.** Los óxidos principales (C= CaO, S= SiO<sub>2</sub>, A= Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F= FeO<sub>3</sub>) constituyen prácticamente más del 90% en peso del Clinker. De los cuatro óxidos principales la cal es de carácter básico y los otros tres de carácter ácido, de ellos la sílice y la cal son componentes activos, y la alúmina y el hierro actúan como fundentes. Podemos ver los porcentajes de variación de los compuestos en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Porcentaje de variación de los compuestos del cemento (*Norma ASTM C 150*)

NOMBRE DEL COMPUESTO	NOMENCLATURA	% DE VARIACION
Silicato Tricálcico	C3S	40 - 60
Silicato Dicálcico	C2S	15 - 30
Aluminato Tricálcico	C3A	2 - 14
Ferro aluminato Tetracálcico	C4AF	8 - 12

#### **Propiedades físicas del cemento portland.**

**1. Superficie específica o finura del cemento (NTP 334.002, ASTM C 150).** La finura es el tamaño de las partículas que componen el

cemento; llamada también superficie específica, se expresa en  $\text{cm}^2/\text{gr}$  y se dice que a mayor superficie específica, mejor y más rápido el tiempo de fraguado.

Entre mayor sea la superficie de contacto, mayor será la superficie del cemento. La superficie específica del cemento está comprendida entre los valores de 2500 a 4500  $\text{cm}^2/\text{gr}$ .

**2. Peso específico (NTP 334.005, ASTM C 150).** El peso específico o densidad aparente expresa la relación entre el peso de una muestra de cemento y el volumen absoluto del mismo; se expresa en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ . Se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{Absoluto}}} \quad (1)$$

Dónde:  $m$  = Peso de la muestra de cemento.  
 $V_{\text{Absoluto}}$  = Volumen de la materia sólida.

El peso específico del cemento es el valor usado en el diseño de mezclas; el cual debería estar comprendido entre los valores de 3.10 a 3.15  $\text{gr}/\text{cm}^3$ . Cabe resaltar que un valor bajo de peso específico, nos indica poca presencia de Clínter y alta de yeso.

**3. Consistencia normal del cemento (NTP 334.003, ASTM C 150).** La consistencia normal del cemento se expresa como: un porcentaje en peso o volumen de agua con relación al peso seco de del cemento, necesario para obtener una pasta con fluidez. Siendo esta una propiedad óptima de hidratación.

$$\% \text{ C.N} = \frac{W_{\text{Agua}}}{W_{\text{Cemento}}} \quad (2)$$

Dónde:  $W_{\text{Agua}}$  = peso del agua.  
 $W_{\text{Cemento}}$  = peso del cemento.

Lo que determina la consistencia normal de cemento es la viscosidad de la pasta (Cemento), la lubricación de los agregados (concretos), entre otros factores. Siendo sus valores normales los comprendidos entre 24% y 32%.

**4. Tiempo de fraguado (NTP 334.056, ASTM C 150):**

- ✓ **Fraguado Inicial:** Es el transcurrido desde la adición de agua hasta alcanzar el estado de plasticidad y dureza, en éste tiempo la pasta se deforma por la acción de pequeñas cargas. Es el tiempo que disponemos para fabricar, transportar, vibrar y colocar el concreto en las obras.
- ✓ **Fraguado Final:** Va desde el fraguado inicial hasta que la pastas se endurezca se vuelva indeformable. En éste caso se produce la unión con los agregados en una mezcla de concreto.

**5. Falso fraguado (NTP 334.052, ASTM C 150).** Fenómeno que produce endurecimiento rápido y rigidez prematura anormal del cemento, durante los primeros minutos de su hidratación; restableciéndose las propiedades de la pasta en el transcurso del tiempo. El falso fraguado se debe a dos factores fundamentales:

- ✓ A la falta de adición de yeso suficiente al cemento.
- ✓ A la falta de adición del Clínter mediante la fabricación.

**6. Calor de hidratación (NTP 334.064, ASTM C 150).** Al reaccionar el agua con el cemento, genera un calor de hidratación en los procesos de fraguado y endurecimiento, incrementándose la temperatura del concreto originando una rápida evaporación del agua, que lleva a la contracción del material y un ocasional agrietamiento. El calor de hidratación de cada tipo de cemento portland se detalla en la tabla 1.4.

Tabla 1.4. Calor de hidratación para cada tipo de cemento portland (NTP 334.064)

TIPO	CARACTERISTICA	% 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 hidratación	40 a 60
V	Alta resistencia a los sulfatos	60 <sup>a</sup> 95

**Estabilidad de volumen (NTP 334.004, ASTM C 150).** Un cemento es estable, cuando ningún elemento principal experimenta expansión perjudicial o destructiva después del fenómeno de hidratación. Pero generalmente el concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen (retracción), debido a variaciones en la temperatura, en la humedad, en los esfuerzos aplicados, entre otros. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar de aproximadamente 0.01% hasta 0.08%.

Los principales factores que afectan la estabilidad del cemento son:

- ✓ Composición química.
- ✓ Finura del cemento.
- ✓ Cantidades de agregado empleado.
- ✓ amañó y forma de la masa de concreto.
- ✓ Temperatura y humedad relativa del medio ambiente.
- ✓ Condiciones de curado.
- ✓ Grado de hidratación y tiempo transcurrido.

**Resistencia mecánica (NTP 334.051, ASTM C 150).** Es la propiedad más importante del cemento endurecido en cuanto a los requisitos estructurales, la resistencia mecánica debe ser a la tracción, flexión y compresión. Es un requisito que debe cumplir todo cemento, se mide a la compresión y mide la calidad de cemento.

La resistencia la compresión se hace sobre mortero (Agua + Cemento+ Arena), en cubos de 2"x2"x2"; la proporción de la mezcla debe ser 1:3 en volumen. A los 28 días adquiere la resistencia de 100%.

**Tipos de cemento portland (NTP 334.009).** Los cementos portland por lo general, se fabrican en cinco tipos, cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de las especificaciones de la norma ASTM C 150.

- **Cemento portland tipo I:** para usos que no requieran propiedades especiales de cualquier otro tipo.
- **Cemento portland tipo II:** para uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
- **Cemento portland tipo III:** para utilizarse cuando se requiere altas resistencias iniciales.
- **Cemento portland tipo IV:** para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.
- **Cemento portland tipo V:** para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

**Control de calidad del cemento.** Las empresas de cemento han incorporado criterios de control de calidad. Que permiten obtener productos de elevadas cualidades. Dichas plantas cuentan con modernos laboratorios para ensayos y análisis de las materias primas. Los ensayos de rutina de carácter químico, físico y mecánico se ejecuta paralelamente a técnicas modernas como: Difracción de rayos X, absorción atómica, la espectrofotometría, los rayos láser, entre otros.

**Almacenamiento del cemento.** Según, Rivva (2000), el cemento puede conservarse indefinidamente, sin deteriorarse, en la medida que esté protegido de la humedad, incluyendo la existente en el aire. En las plantas de hormigón, en las obras y en el transporte de larga duración, el cemento tiende a deteriorarse, por lo que deben observarse ciertas precauciones para su almacenamiento.

**Cemento en bolsas.** Rivva (2000) recomienda para el almacenamiento de cemento en bolsas tener en cuenta los siguientes criterios:

- Se almacenara en un lugar techado, fresco, con ventilación adecuada, libre de humedad y protegido de la externa, sin contacto con el agua o suelo.
- Las bolsas se almacenaran en pilas hasta de diez a fin de facilitar su control y manejo y se cubrirán con material plástico u otro medio de protección adecuado.
- No se aceptará en obra bolsas cuya envoltura esté deteriorada o perforada, que presenten humedad, o aquellas cuyo peso no corresponda a la norma.

**Cemento A Granel:** Rivva (2000) recomienda para el almacenamiento de cemento a granel tener en cuenta los siguientes criterios:

- Se almacenará en sitios metálicos cerrados, a fin de garantizar sus propiedades e impedir cambios en su composición y propiedades físicas y químicas.
- Los silos deberán ser aprobados por la supervisión, debiendo su geometría facilitar la salida del material e impedir el ingreso de humedad o sustancias contaminantes.
- Deberá tenerse especial cuidado durante el traslado del cemento de los camiones a los silos, a fin de evitar que se humedezca o contamine con sustancias extrañas.

**Indicaciones de seguridad.** Según Rivva (2000), los operarios deberán proteger sus ojos y piel del cemento y mezclas, ya que el cemento puede causar serias dermatitis y daño a los ojos. Cuando el contacto ocurre las áreas afectadas deben ser limpiadas rápidamente con agua. Si el cemento o la mezcla caen en los ojos, la persona deberá recibir atención médica inmediata.

**Muestreo del cemento (NTP 334.037).** El muestreo consiste en obtener una porción representativa del cemento en estudio, incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

Cuando el cemento se suministra en sacos, el muestreo se realiza en el vehículo de transporte o en el almacenamiento, directamente de los envases cerrados del cemento que fue expedido.



Cuando el cemento se maneja a granel, el muestreo se realiza en los vehículos de transporte, en la banda transportadora que descarga el cemento en el lugar de almacenamiento, o en las tolvas, silos u otros depósitos donde éste se almacena.

**Características.** Entre sus principales características tenemos:

- ✓ Es un producto obtenido de la molienda conjunta de clínker y yeso.
- ✓ Ofrece un fraguado controlado.
- ✓ Por su buen desarrollo de resistencias a la compresión a temprana edad, es usado en concretos de muchas aplicaciones.
- ✓ El acelerado desarrollo de sus resistencias iniciales permite un menor tiempo de desencofrado

**Usos y aplicaciones.** Entre sus principales usos tenemos:

- ✓ Para construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requiera características especiales o no se especifique otro tipo de cemento.
- ✓ Elementos Pre-fabricados de concreto (hormigón).
- ✓ En la fabricación de bloques, tubos para acueductos y alcantarillados, terrazos, adoquines, etc.
- ✓ Mortero para asentado de ladrillos, tarrajeos, enchapes de mayólicas y otros materiales.

En las tablas 1.5. y 1.6. se da a conocer las características físicas, químicas y mecánicas del cemento Pacasmayo tipo I, utilizado en la presente investigación.

Tabla 1.5. Características físico-mecánicas del cemento Pacasmayo tipo I (*Alvares Barrantes M. A., 2007*)

CARACTERISTICAS	CEMENTO TIPO I
Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	3.11
Finura: Malla N° 100 (%)	
Finura: Malla N° 200 (%)	
Superficie Especifica BLAINE (cm <sup>2</sup> /gr)	3200
Contenido de Aire (%)	10.10
Expansión Autoclave (%)	0.80
Fragua Inicial (vicat) (hrs : min)	2 : 40
Fragua Final (vicat) (hrs: min)	5 : 30
Resistencia a Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	
f'c = 3 días	150
f'c = 7 días	201
f'c = 28 días	267

Tabla 1.6. Características químicas del cemento Pacasmayo tipo I (Alvares Barrantes M. A., 2007)

ELEMENTO	CEMENTO TIPO I (%)
CaO	62.70
SiO <sub>2</sub>	20.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.60
K <sub>2</sub> O	0.68
Na <sub>2</sub> O	0.22
SO <sub>3</sub>	2.2
MgO	2.40
C.L	1.10
P.lgn.	1.93
R.I.	0.68

### 2.2.7 Aditivos (ASTM C-494)

**Definición de aditivo.** Material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico que se usa como ingrediente en concretos o morteros y se añade a la mezcla inmediatamente, antes o durante su mezclado.

Los aditivos a diferencia del cemento, los agregados y el agua, no son componentes esenciales de la mezcla, son componentes importantes cuyo uso se generaliza cada vez más en las mezclas concretas.

**Naturaleza.** Son materiales orgánicos e inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada la pasta y que modifican algunas características como: el proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del concreto.

**Clasificación.** Clasificaremos a los aditivos, por las propiedades del concreto que éstos modifican, ya que es el aspecto básico al cual se apunta en obra, cuando se busca una alternativa de solución que no puede lograrse con el concreto normal.

**A. Aditivos acelerantes.** Sustancias que reducen el tiempo normal de endurecimiento de la pasta de cemento y/o aceleran el tiempo normal de desarrollo de su resistencia. Siendo la proporción normal de uso del orden de 1% al 2% del peso de cemento.

**B. Aditivos retardantes.** Incrementa el tiempo de endurecimiento normal de concreto, para lograr un periodo de plasticidad mayor que facilite el proceso constructivo. Se dosifican generalmente en la proporción del 0.2% a 0.5% del peso de cemento.

**C. Aditivos reductores de agua – plastificantes.** Son compuestos orgánicos e inorgánicos que permiten emplear menor agua de la que se usaría en condiciones normales del concreto, produciendo mejor trabajabilidad y también mejor resistencia al reducirse la relación agua /cemento. Usualmente reducen el contenido de agua por lo menos en un 5% al 10%. La dosificación normal oscila entre el 0.2% a 0.5% del peso de cemento, y se usan diluidos en el agua de mezcla.

**D. Aditivos súper plastificantes.** Son reductores de agua-plastificantes, en la actualidad existen los llamados de tercera generación que cada vez introducen mejoras adicionales a las mezclas de concreto con reducciones de agua de mezcla, produciendo resultados impresionantes en cuanto a la modificación de la trabajabilidad. La dosificación usual es del 0.2 % al 2% del peso de cemento.

**E. Aditivos impermeabilizantes.** Su función principal es impermeabilizar las estructuras, a fin de evitar que el agua pase a través de las mismas. Siendo la proporción normal de uso del orden de 0.5% al 0.4% del peso del cemento; son generalmente utilizados en tuberías, depósitos, canales, etc.

**F. Aditivos permeabilizantes.** Esta es una categoría de aditivo que solo es individualizada nominalmente, pues en la práctica no existe o no es verdadera.

### **Importancia de los aditivos**

**A.** En el concreto fresco.

- ✓ Incrementar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua.
- ✓ Disminuir el contenido de agua sin modificar la trabajabilidad.
- ✓ Reducir o prevenir posibles asentamientos de las mezclas.
- ✓ Crear una ligera expansión en el concreto.
- ✓ Modificar la velocidad y volumen de exudación.
- ✓ Reducir la segregación del concreto.
- ✓ Facilitar el bombeo del concreto.
- ✓ Reducir la velocidad de pérdida de asentamiento.

**B.** En el concreto endurecido

- ✓ Disminuir el calor de hidratación.

- ✓ Desarrollo inicial de la resistencia del concreto.
- ✓ Incrementar las resistencias mecánicas del concreto.
- ✓ Incrementar la durabilidad del concreto.
- ✓ Disminuir el flujo capilar de agua.
- ✓ Disminuir la permeabilidad de los líquidos.
- ✓ Mejorar la adherencia del concreto – acero de refuerzo.
- ✓ Mejorar la resistencia al impacto y la abrasión.

### **Fibras de polipropileno Fibromac**

El polipropileno es un polímero termoplástico parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno. Es usado en una gran variedad de elementos que van desde empaques para alimentos, tejidos, hasta componentes del concreto. Tiene una resistencia nominal de tensión de 600 a 650 MPa, un módulo de elasticidad de 9.5 Gpa y una longitud de fibra de 50mm

Las fibras sintéticas se fabrican de materiales tales como acrílico, aramida, carbón, nylon, poliéster y polipropileno. En general, las fibras sintéticas se caracterizan por tener elevada resistencia a la tensión y, entre ellas se definen dos categorías: las de alto y las de bajo módulo de elasticidad.

Las principales ventajas de la adición de fibras sintéticas en el concreto son, en estado endurecido, el incremento de la tenacidad y de la resistencia al impacto y, en el estado fresco, el control de la contracción plástica. Adicionalmente, controla la aparición de fisuras durante la vida útil de la estructura y brinda mayor resistencia a la fatiga.

### **2.2.8 Características físicas de los agregados**

**Análisis granulométrico (NTP 400.012, ASTM C 136).** Se define como el estudio de la manera como se encuentran distribuidos los tamaños de las partículas del agregado.

**Módulo de finura (NTP 334.045, ASTM C 136).** Es el indicador del grosor predominante de las partículas de un agregado. Puede considerarse como un tamaño promedio ponderado, pero que no representa la distribución de las partículas. El módulo de finura esta en relación inversa a las áreas

superficiales; por lo que la cantidad de agua por área superficial será menor, mientras mayor sea el módulo de finura.

Para el caso del agregado fino, se calcula a partir del análisis granulométrico sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100; y dividiendo dicha suma entre 100.

$$M.F = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices}(N_4, N_8, N_{16}, N_{30}, N_{50}, N_{100})}{100} \quad (3)$$

Para el caso del agregado grueso, se calcula a partir del análisis granulométrico sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices 1", ¾", 3/8", N°4, más el valor de 500; y dividiendo dicha suma entre 100.

$$M.G = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices}(1", 3/4", 3/8", N_4) + 500}{100} \quad (4)$$

#### **Peso específico y absorción (NTP 400.021 - 400.022, ASTM C 127 – C 128).**

**A. Peso específico de masa.** Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material); a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

Para el Agregado Fino, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Pe.m = \frac{Wms}{S - Va} \quad (5)$$

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

S: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca.

Va: Volumen de agua añadida.

Para el Agregado Grueso, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Pe.m = \frac{Wms}{S - Wma} \quad (6)$$

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

S: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca.

W<sub>ma</sub>: Peso en el agua de la muestra saturada.

**B. Peso específico de masa saturada superficialmente seca.** Es lo mismo que el peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

Para el Agregado Fino, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Pe.m(S.S.S)} = \frac{S}{S - V_a}$$

(7)

S: Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca.

V<sub>a</sub>: Volumen de agua añadida.

Para el Agregado Grueso, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Pe.m(S.S.S)} = \frac{S}{S - W_{ma}}$$

(8)

S: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca.

W<sub>ma</sub>: Peso en el agua de la muestra saturada.

**C. Peso específico nominal o aparente.** Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire, de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas, si el material es un sólido, el volumen es igual a la porción impermeable.

Para el **Agregado Fino**, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Pe.a} = \frac{W_{ms}}{[(S - V_a) - (S - W_{ms})]}$$

(9)

W<sub>ms</sub>: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C.

S: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca.

V<sub>a</sub>: Volumen de agua añadida.

Para el **Agregado Grueso**, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Pe.a} = \frac{W_{ms}}{W_{ms} - W_{ma}}$$

(10)

$W_{ms}$ : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C.

$W_{ma}$ : Peso en el agua de la muestra saturada.

**D. Absorción.** Capacidad que tienen los agregados para llenar de agua los vacíos permeables de su estructura interna, al ser sumergidos durante 24 horas en ésta. La relación del incremento en peso al peso de la muestra seca expresado en porcentaje, se denomina porcentaje de Absorción.

La absorción, depende de la porosidad, y es importante para las correcciones en las dosificaciones de mezclas de concreto.

La absorción influye en otras propiedades del agregado, como la adherencia con el cemento, la resistencia a la abrasión y la resistencia del concreto al congelamiento y deshielo.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Abs} = \frac{S - W_{ms}}{W_{ms}} \times 100$$

(11)

$S$ : Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

$W_{ms}$ : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C.

### **Contenido de humedad (NTP 400.010, ASTM C-70).**

Es el total de agua que contiene el agregado en un momento dado. Si se expresa como porcentaje de la muestra seca, se le denomina Porcentaje de Humedad, pudiendo ser mayor o menor que el porcentaje de absorción.

Los agregados se presentan en los siguientes estados: seco en el laboratorio, seco al aire, saturado superficialmente seco y húmedos; en los cálculos para el proporcionamiento de los componentes del concreto, se considera al agregado en condiciones de saturado superficialmente seco, es decir con todos sus poros abiertos llenos de agua y libre de humedad superficial.

**A. Seco en el laboratorio.** No existe humedad alguna en el agregado. Se consigue mediante un secado prolongado en una estufa a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ .

**B. Seco al aire.** Es característico de los agregados que se han dejado secar al medio ambiente, cuando existe algo de humedad en el

interior del árido. Al igual que en el estado anterior, el contenido de humedad es menor que el porcentaje de absorción.

**C. Saturado superficialmente seco.** Viene a ser el estado cuando todos los poros del agregado se encuentran llenos de agua. Es la condición ideal de un agregado, en el cual el agregado no absorbe ni cede agua al concreto.

**D. Húmedo.** Existe una película de agua que rodea al agregado, llamado agua libre, y es la cantidad de agua en exceso. En éste estado el contenido de humedad es mayor que el porcentaje de absorción. Es importante mencionar que el agregado fino retiene mayor cantidad de agua que el agregado grueso.

El contenido de humedad se calcula mediante la siguiente expresión:

$$W\% = \frac{A - B}{B} \times 100$$

(12)

A: Peso de la muestra húmeda

B: Peso de la muestra seca

### **Peso unitario (NTP 400.017, ASTM C 29).**

Es el peso del material seco que se necesita para llenar un recipiente de volumen unitario. También se le denomina peso volumétrico y se emplean en la conversión de cantidades de peso a cantidades de volumen y viceversa.

El peso unitario está en función directa del tamaño, forma y distribución de las partículas, y el grado de compactación (suelto o compactado).

**A. Peso unitario seco suelto.** Es aquel en el que se establece la relación peso/volumen dejando caer libremente desde cierta altura el agregado (5cm aproximadamente), en un recipiente de volumen conocido y estable. Este dato es importante porque permite convertir pesos en volúmenes y viceversa.

**B. Peso unitario seco compactado.** Este proceso es parecido al del peso unitario suelto, pero compactando el material en capas dentro del molde, éste se usa en algunos métodos de diseño de mezcla como lo es el de American Concrete Institute.



Según el American Concrete Institute (ACI), existen dos procedimientos para determinar el peso unitario seco compactado. El Método del Apisonado, para agregados cuyo tamaño máximo no sea mayor de 3.8 cm, y el Método De Vibrado, para agregados cuyo tamaño máximo está comprendido entre 3.8 cm y 10 cm:

**B.1. Método del 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. La varilla de acero es de 16 mm de ancho y 60 cm de longitud, terminada en una semiesfera.

Al apisonar se aplica la fuerza necesaria para que la varilla atraviese solamente la capa respectiva.

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), como se indica en los cálculos realizados de los agregados.

**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.

**Porcentaje que pasa el tamiz # 200 (NTP 400.018, ASTM C 117).**

Son materiales muy finos del agregado, se presentan en forma de recubrimientos superficiales (arcillas), o en forma de partículas sueltas (limo). La primera interfiere en la adherencia entre el agregado y el cemento, y la segunda incrementa la cantidad de agua de mezclado, logrando disminuir la resistencia.

- ✓ Las partículas muy finas como la arcilla, el limo y el polvo de trituración pueden ser eliminadas de los agregados mediante el lavado de los mismos con agua potable o su similar.
- ✓ El porcentaje que pasa el tamiz # 200, se calcula mediante tamizado por lavado en la malla N° 200. A la pérdida en peso debido al lavado, calculado en porcentaje en peso de la muestra original.

**A. Porcentaje que pasa el tamiz # 200 (sin lavado previo).** Se realizó el cálculo del porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200 tal cual se obtuvo de la cantera, utilizándose la siguiente expresión:

$$\% \text{pasa tamiz N}^\circ 200 = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

(13)

Wi: Peso seco de la muestra original

Wf: Peso seco de la muestra después del lavado

**B. Porcentaje que pasa el tamiz # 200 (con lavado previo).** Debido a la excesiva presencia de material fino en los agregados, se realizó un lavado previo de los mismos con agua potable de la red, utilizándose la siguiente expresión:

$$\% \text{pasa tamiz N}^\circ 200 = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

(14)

Wi: Peso seco de la muestra original

Wf: Peso seco de la muestra después del lavado

**Resistencia a la abrasión (NTP 400.019 - 400.020, ASTM C 131).**

Es la fuerza que presentan los agregados al ser sometidos a fuerzas de impacto, al desgaste por abrasión y frotamiento. Cuando la pérdida de peso se

expresa en porcentaje de la muestra original se le denomina porcentaje de desgaste.

El método de prueba usado es el de la Máquina los Ángeles, por su rapidez y porque se puede aplicar a cualquier agregado. La resistencia a la abrasión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$De = \frac{W_o - W_f}{W_o} \times 100$$

(15)

Wo: Peso Original de la muestra

Wf: 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 por las aberturas de los tamices de la norma ITINTEC 350.001; y dependiendo el tipo de gradación se procederá al ensayo con un número determinado de esferas. En la tabla 1.7. podemos observar las gradaciones de muestras de ensayo.

El número de esferas para el ensayo, deberán ser de fierro fundido, con un diámetro de 48 mm y entre 390 y 445 gr de masa. En la tabla 1.8. observamos la carga abrasiva de las esferas.

Tabla 1.7. Gradaciones de muestras de ensayo (Norma ITINTEC 350.001)

TAMAÑO DE LOS TAMICES (ABERTURAS GRADADAS)		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (g)			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
37.50 mm (1 1/2")	25.40 mm (1")	1250±25	-----	-----	-----
25.40 mm (1")	19.00 mm (3/4")	1250±25	-----	-----	-----
19.00 mm (3/4")	12.70 mm (1/2")	1250±10	2500±10	-----	-----
12.70 mm (1/2")	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 (Nº 4)	-----	-----	2500±10	-----
4.76 mm (Nº 4)	2.36 mm (Nº 8)	-----	-----	-----	5000±10

Tabla 1.8. Carga abrasiva (Norma ITINTEC 350.001)

GRADACIÓN	NÚMEROS DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 15

### 2.2.9 Concreto.

**Definición del Concreto.** Rivva (1998), define al concreto como un material artificial compuesto, el cual consiste en un medio ligante, denominado pasta, dentro del que se encuentran embebidas partículas de un medio denominado agregado.

La pasta es el resultado de la combinación química del cemento y el agua. Se le considera la fase continua del concreto, ya que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto, mientras que el agregado es la fase discontinua del concreto, dado que sus diversas partículas no están unidas o en contacto unas con otras, sino se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecidas.

**Hidratación y Tiempo de curado.** Rivva (1998), nos da las definiciones:

- **Hidratación** proceso de reacción química del cemento en presencia del agua. La hidratación requiere de presencia de humedad, condiciones de curado favorables y tiempo.
- **Tiempo de curado:** Periodo 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 seleccionada.

### Naturaleza física del concreto.

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: Agregado y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca

pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua.

La pasta está compuesta de cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. La pasta constituye del 25 al 40 % del volumen total del concreto. El Cemento está comprendido entre el 7 y el 15 %, el agua entre el 14 y el 21 %, el aire y concretos con aire incluido pueden llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Los agregados deben tener resistencia adecuada, granulometría continua de tamaños de partículas y no contener materiales dañinos al concreto, ya que constituyen aproximadamente del 60 al 75 % del volumen total del concreto.

**Porosidad.** Sistema de vacíos presente en la estructura interna del concreto endurecido, determina la conducta posterior del concreto para absorber líquidos y también su permeabilidad o capacidad de flujo a través de él.

La porosidad, permeabilidad y capilaridad comprenden fenómenos físicos que tienen interdependencia, un concreto será más permeable y tendrá más absorción capilar cuanto más poroso sea.

La porosidad se encuentra bajo dos formas:

1. **La porosidad cerrada:** Cuando los poros no se comunican entre ellos ni con el exterior; formada por parte de la porosidad de agregados y por el aire atrapado en el concreto.
2. **La porosidad abierta:** Cuando los poros se comunican entre sí y con el medio exterior al concreto; formada por la porosidad de agregados y por los micro canales dejados al evaporarse parte del agua de mezclado (poros capilares), y es aquella que debe preocupar a los expertos en concreto.
  - ✓ Es la que favorece más o menos:
  - ✓ El camino de los agentes agresivos hacia las armaduras.
  - ✓ La contracción hidráulica.
  - ✓ La acción de la helada.
  - ✓ La permeabilidad.
  - ✓ Las resistencias bajas.

La suma de las dos porosidades constituye la porosidad total o denominada simplemente Porosidad.

La porosidad de acuerdo al lugar como se encuentran, podemos clasificarnos como: la porosidad de la pasta y de la porosidad de los agregados.

**Porosidad de la pasta.** Rivva (1998), define porosidad de la pasta como cantidades variables de espacios vacíos, denominados poros, los cuales no contienen materia sólida aunque, bajo determinadas circunstancias, algunos de ellos podrían estar parcial o totalmente llenos de agua, además clasifica en cuatro categorías especificadas por el origen, tamaño promedio o ubicación, estas cuatro categorías son:

- ✓ Poros por aire atrapado.
- ✓ Poros por aire incorporado.
- ✓ Poros capilares.
- ✓ Poros gel.

**a) Poros por Aire Atrapado:** Durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire (1%) aportado por los materiales queda atrapada en la mezcla de concreto, no siendo eliminada en el mezclado, colocación o compactación. Son inevitables en el concreto, varían en tamaño son no visibles o pueden llegar hasta 1 cm. o más de diámetro, de perfil irregular y no siempre están conectados.

**b) Poros por Aire Incorporado:** Esencialmente es por el incremento de la durabilidad del concreto, por la protección de la pasta contra la congelación del agua en el interior, se incorporan intencionalmente mediante aditivos químicos que tienen minúsculas burbujas de aire y se las conocen como poros de aire incorporado.

El principal problema de aire incorporado, es que éstas al incrementar la porosidad, disminuyen la resistencia mecánica en un 5% por cada 1% de aire incorporado.

**c) Poros Capilares:** Son espacios inicialmente de agua en el concreto fresco, que en la hidratación del cemento no se han ocupado por el gel. Dependen de la relación A/C, del grado de hidratación de la pasta; son de tamaño sub microscópico, contienen agua que puede congelarse.

Conforme aumenta el número de poros capilares, la resistencia es menor, tendiendo a aumentar la porosidad, permeabilidad y absorción del concreto.

**d) Poros Gel:** Durante la formación del gel quedan atrapados dentro de este, aislados unos de otros y del exterior. Se presentan en el gel independientemente de la relación A/C y del grado de hidratación, ocupando el 28% aprox. de la pasta.

**La porosidad del agregado.** En el agregado son vacíos porosos y permeables, varían de acuerdo a los diferentes tipos de rocas, entre el 0.3% y el 20%. Rivva (2000), considera que el problema se presenta en partículas de agregado grueso con altos valores de porosidad o absorción, causados principalmente por poros de tamaño medio en el rango de 0.1 a 5  $\mu\text{m}$ , los cuales son los fácilmente saturados y contribuyen al deterioro del concreto.

**Relación agua-cemento.** La relación agua / cemento (A/C) para el diseño de la mezcla, será el menor valor requerido para cubrir la muestra de diseño. Si la durabilidad no rige el diseño, la relación A/C deberá elegirse en base a la resistencia a compresión del concreto.

Por la facilidad con que se determina, la resistencia a la compresión es la más universalmente utilizada para la calidad del concreto, pero otras propiedades como: la durabilidad, la permeabilidad y la resistencia al desgaste pueden tener igual o mayor importancia. La resistencia del concreto depende de la cantidad y calidad de los componentes reactivos y del grado de hidratación.

El concreto es más resistente con el tiempo, si existe humedad disponible y temperatura favorable. Luego una resistencia a cualquier edad no está en función de la relación A/C original, sino del grado de hidratación que alcance el cemento. La importancia de un curado preciso y completo se reconoce fácil a partir de este análisis.

Las diferentes resistencias para una relación A/C dada puede deberse a los cambios en el tamaño del agregado, granulometría, textura superficial, forma, resistencia, rigidez, contenido de aire incluido; presencia de aditivos; y del curado.

**Influencia de la relación agua-cemento.** El total de concreto endurecido está determinado por la cantidad de agua utilizada con el cemento. A continuación se presenta algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- ✓ Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- ✓ Tiene menor permeabilidad, por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- ✓ Incrementa la resistencia al intemperismo.
- ✓ Logra mejor unión entre capas sucesivas, entre el concreto y el esfuerzo.
- ✓ Reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá mejor calidad de concreto, pero con vibración. Las mezclas más rígidas son las más económicas. Por tanto, el refuerzo del concreto por vibración permite una mejora en la calidad del concreto y en la economía.

### **Propiedades del concreto.**

**Concepto.** Rivva (1998), en el análisis de las propiedades del concreto es importante recordar que ellas están asociadas con las características y proporciones de los materiales integrantes; que la calidad, cantidad y densidad de la pasta es determinante en las propiedades del concreto, y que la relación A/C lo es sobre las características de la pasta.

**Propiedades Fundamentales.** Rivva (1998), sugiere que las propiedades más importantes del concreto no endurecido incluyen: la trabajabilidad, consistencia, fluidez, cohesividad, contenido de aire, segregación, peso unitario, así como el tiempo de fraguado.

Las propiedades más importantes del concreto endurecido incluyen: la resistencia mecánica, durabilidad, propiedades elásticas, cambios de volumen, impermeabilidad, resistencia al desgaste y cavitación, propiedades térmicas y acústicas, apariencia.

**A. Propiedades del concreto fresco.** Es aquel recién preparado cuyo estado es plástico y moldeable en el cual no se produce el fraguado ni el endurecimiento y adopta la forma del encofrado.



**A.1. Trabajabilidad.** Rivva (2000), define la trabajabilidad como a la facilidad con la cual un cantidad determinada de materiales puede ser mezclada para formar el concreto, y luego este puede ser, para condiciones dadas de obra, manipulado, transportado y colocado con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad.

Nuestro país se rige por la NTP 339.035 y el ensayo se denomina de Asentamiento. Se mide por el "Slump" o consistencia (cono de ABRAMS), ya que este permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, pero limitadamente, pues es una prueba de uniformidad más que de trabajabilidad.

Es común que esta prueba sea un condicionante de aprobación o desaprobación del concreto fresco. Ver figura 1.1.

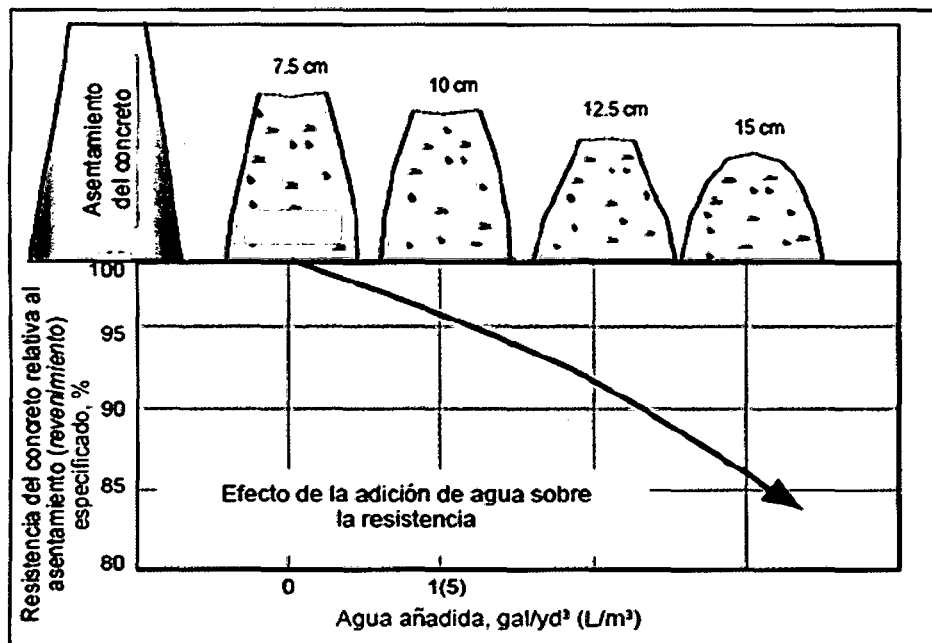


Figura 1.1. Efecto de la adición de agua sobre el asentamiento y la resistencia del concreto. (<http://civilgeeks.com>, 2011)

Se han establecido 3 tipos de asentamientos característicos:

- 1. Normal o verdadero.** Es propio de una mezcla rica y con una correcta cantidad de agua. El concreto no sufre grandes deformaciones, sus componentes permanecen unidos debido al cemento que los liga.

2. **Corte.** Producido por exceso de agua, la pasta pierde su poder adhesivo, causando asentamientos mayores y reduciendo el coeficiente de rozamiento.

3. **Desplomado.** Cuando el concreto tiene mucha agua y es pobre en arena, en lugar de asiento se produce rotura por derrumbamiento y a veces por corte.

**A.2. Consistencia o Fluidéz.** Rivva (2000), define la consistencia como una propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidéz de la misma, entendiéndose por ello que cuando más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación.

La consistencia se mide mediante el “Slump” con el “Cono de Abrams” (ASTM C-143), es una prueba sencilla que se usa en el campo como en el laboratorio.

**A.3. Segregación.** Rivva (2000), se define como la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero, lo que es entendible si se considera que el concreto es una mezcla de materiales de diferentes tamaños y gravedades específicas, por lo que se generan al interior del mismo fuerzas las cuales tienden a separar los materiales componentes cuando la mezcla aún no ha endurecido. El resultado de la acción de estas fuerzas es definido como segregación.

**A.4. Exudación.** Rivva (2000), se define como la elevación de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie, generalmente debido a la sedimentación de los sólidos. El proceso se inicia momentos después que el concreto ha sido colocado y consolidado en los encofrados y continua hasta que se inicia el fraguado de la mezcla, se obtiene máxima consolidación de sólidos, o se produce la ligazón de las partículas.

**A.5. Cohesividad.** Rivva (2000), se define como aquella propiedad del concreto fresco gracias a la cual es posible controlar el peligro de segregación durante la etapa de colocación de la mezcla, al mismo tiempo

que contribuye a prevenir la aspereza de la misma y facilitar su manejo durante el proceso de compactación del concreto.

## **B. Propiedades del concreto endurecido.**

**B.1. Resistencia** Rivva (1998), se define como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el concreto sin romperse. La resistencia en compresión se utiliza como un índice de calidad de concreto. En pavimentos suele utilizarse la resistencia en flexión.

**B.2. Módulo de Elasticidad.** Rivva (2000), afirma que conforme el módulo de elasticidad del agregado se incrementa ocurre lo mismo con el del concreto, por lo que conforme el volumen de agregado se incrementa el módulo de elasticidad del concreto deberá aproximarse al del agregado.

## **Agua (NTP 334.088)**

### **Generalidades del agua.**

Alrededor del 98% de agua, corresponde a agua salada que se encuentra en mares y océanos, el agua dulce que poseemos en un 69% corresponde a agua atrapada en glaciares y nieves eternas, un 30% está constituido por aguas subterráneas y una cantidad no superior al 0,7% se encuentra en forma de ríos y lagos.

### **Definición de agua.**

En concreto el agua es el elemento por cual el cemento experimenta reacciones que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para producir un material sólido con los agregados.

### **Control de calidad del agua.**

Por la relación entre la calidad de aguas y sus usos, se establecen estándares y criterios de calidad específicos que debe reunir el agua para concreto, requisitos que generalmente vienen expresados como rangos cuantitativos de determinadas características fisicoquímicas y biológicas.

### **Requisitos de calidad.**

Básicamente se refieren a sus características físico-químicas y a sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto. Si el agua es potable, se supone que sus características físico-químicas son adecuadas para hacer

concreto, excepto por la posibilidad de que contenga alguna sustancia saborizante.

### **División del agua en el concreto.**

El agua en el concreto se divide en agua de mezclado y agua de curado.

**Agua de mezclado.** Corresponde al volumen de agua por metro cúbico de concreto en el diseño, tiene dos fases:

**Agua De Hidratación:** Es la que reacciona químicamente con el cemento, lo hidrata formando el gel o pasta hidratada. Recibe el nombre de no evaporable porque a una temperatura de 110°C no se produce evaporación.

**Agua Evaporable:** Es la parte de agua de mezclado que es capaz de agitarse a 110°C. Se divide en tres fases:

**Agua de Absorción:** Es una capa molecular de agua que es atraída por el gel del cemento.

**Agua Capilar:** Es la que ocupa los poros entre los granos del cemento. Las aguas de absorción y capilar ocupan un 77% de estas aguas.

**Agua Libre:** Es la que realmente evapora, o sea la que se pierde dentro del agua de mezclado en " Condiciones de Secado".

**Agua de curado.** Es el agua que necesita el concreto para hidratar eficientemente el cemento. El agua en el concreto debe de ser mínimo del 48%, hay tres factores que influyen en la cantidad de agua en una mezcla: la relación A/C, la humedad ambiental y la diferencia de densidades de los materiales.

**B.1. Propiedades.** El agua de concreto debe tener las propiedades detalladas en la tabla 1.9.

Tabla 1.9. Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua para la elaboración del concreto (valores en partes por millón). (*Características de los materiales 2003*)

IMPUREZAS	Tipos de cemento	
	Cementos ricos en calcio	Cementos resistentes a los sulfatos (RS)
Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas), máximo	2000	2000
Sólidos en suspensión en aguas recicladas (finos de cemento y agregados), máximo	50000	35000
Cloruros como Cl:		
Para concreto con acero de presfuerzo y piezas de puentes, máximo	400	600
Para concreto reforzados que están en ambiente húmedo o en contacto con metles como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares, máximo	700	1000
Sulfatos como SO <sub>2</sub> , máximo	3000	3500
Magnesio como Mg, máximo	100	150
Carbonatos como CO <sub>3</sub> , máximo	600	600
Bióxido de carbono disuelto como CO <sub>2</sub> , máximo	5	3
Alcalis totales como Na, máximo	300	450
Total de impurezas en solución, máximo	3500	4000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido, máximo)	150	150
Potencial de hidrogeno (PH), mínimo	6	6.5

*Se considera como agua reciclada, la que se usó en el lavado de unidades revolventoras de concreto, que después de un proceso incompleto de sedimentación se emplea en la fabricación del concreto hidráulico y que contiene en suspensión un alto porcentaje de finos del cemento y agregados, sales solubles de cemento y aditivos.*

*El agua que exceda los límites listados para cloruros, sulfatos y magnesio, podrá emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados, no excede dicho límite.*

*Cuando se utilice cloruro de calcio (CaCL), como aditivo acelerante, se tomara en cuenta la cantidad de este para no exceder el límite de cloruros indicado en la tabla.*

*Fuente:*

### **2.2.10 Diseño de mezclas método módulo de fineza de la combinación de agregados.**

Como consecuencia de las investigaciones realizadas se ha podido establecer una ecuación que relaciona el módulo de fineza de los agregados fino y grueso, así como su participación porcentual en el volumen absoluto total del agregado.

Dicha ecuación es:

$$m_c = r_f * m_f + r_g * m_g \quad (16)$$

Dónde:

- $m_c$  : 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:

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \times 100 \quad (17)$$

### Resistencia Requerida.

Según 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 1.10.

Tabla 1.10. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra. (NTE.E.060, 2009)

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21 \text{ MPa}$	$f'_{CR} = f'_c + 7.0 \text{ MPa}$
$35 \text{ MPa} < f'_c < 35 \text{ MPa}$	$f'_{CR} = f'_c + 8.5 \text{ MPa}$
$f'_c > 35 \text{ MPa}$	$f'_{CR} = 1.1f'_c + 5.0 \text{ MPa}$

### Elección del asentamiento (Slump).

Según Laura (2008) si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la tabla 1.11.

Tabla 1.11. Consistencia y asentamientos. (Laura Huanca S, 2008)

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

### Selección de tamaño máximo del agregado.

Las normas de diseño estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que sea económicamente disponible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura. La Norma Técnica de Edificación E. 060 prescribe que el agregado grueso no deberá ser mayor de:

- a) 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados; o
- b) 1/3 del peralte de la losa; o
- c) 3/4 del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de presfuerzo.

### Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.

La tabla 1.12 preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado, consistencia y el perfil del mismo.

Tabla 1.12. Contenido de agua de mezcla para concreto sin aire incorporado. (Rivva López E, 2010)

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA EN l/m <sup>3</sup> , PARA LOS ASENTAMIENTOS Y PERFILES DEL AGREGADO GRUESO						
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO	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

Tabla 1.13. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregado. (ACI 211 y ACI 318)

ASENTAMIENTO	Agua , en l/m3, para los tamaños máximos nominales del agregado grueso y consistencia indicados							
	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	111
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	
Cont. De aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	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	
Promedio recomendable para el contenido total de aire (%)	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

### Elección de la relación agua/cemento (a/c).

Existen dos criterios (por resistencia, y por durabilidad) para la selección de la relación a/c, como vemos en la tabla 1.14.; de los cuales se elegirá el menor de los valores, con lo cual se garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones.

Tabla 1.14. Relación agua / cemento por resistencia (Rivva López E, 2010)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS (kg/cm <sup>2</sup> ) f'cr	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

*Esta tabla ha sido confeccionada por un grupo de investigadores de la Nacional Ready Mixed Concrete Association.*

*Los valores corresponden a concretos sin aire incorporado. En concretos con aire incorporado, la reacción agua/cemento deberá estimarse sobre la base de la reducción del 5% en la resistencia por cada 1% de aire incorporado.*

### 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. En la tabla 1.15. observamos los módulos de finura de la combinación de agregados.

Tabla 1.15. Módulo de finura de la combinación de agregados. (Rivva López, 2010)

TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO	MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS, EL CUAL DA LAS MEJORES CONDICIONES DE TRABAJABILIDAD PARA LOS CONTENIDOS DE CEMENTO EN SACO POR 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	5.69	6.01	6.09
3	6.16	6.29	6.31	6.39

### 2.2.11. Forma de tratamiento de datos.

El tema de investigación en materia del “uso de aditivos en el concreto” no es nuevo, pues ya ha sido estudiado por otros autores, los cuales han establecido ciertos lineamientos a tener en cuenta para el tratamiento de datos:

Dichos lineamientos hacen incidencia en las gráficas de comportamiento “Esfuerzo-Deformación Unitaria” de los ensayos de carácter mecánico, los cuales son los siguientes:

- 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 una 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” (Ver Figura 1.2.).
- La exactitud geométrica de las probetas, dependen de la destreza del operador y la calibración de las máquinas; puesto que inciden directamente en la calidad de los resultados de cada ensayo.

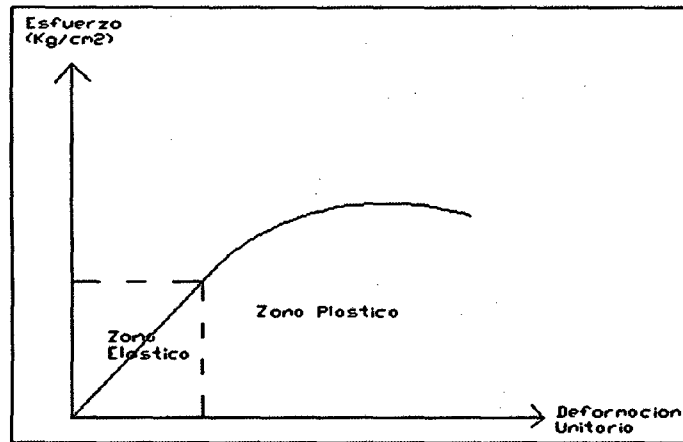


Figura 1.2. Curva típica esfuerzo-deformación unitaria para concreto. (<http://civilgeeks.com>, 2011)

### Forma de análisis de las informaciones.

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

1. **Tratamiento inicial de datos.** Consiste en reemplazar los datos obtenidos de los ensayos en las fórmulas respectivas, obteniendo 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 lo hemos realizado con la ayuda de un procesador.
2. **Construcción de dispersogramas.** En algunos ensayos de acuerdo a su naturaleza y como la metodología lo exige se tienen que construir dispersogramas. “Esfuerzo - Deformación Unitaria”, esta operación como

su nombre lo indica consistió en la construcción de dichos dispersogramas para su posterior "ajuste".

- 3. Ajuste de curvas.** La unión consecutiva de los 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 solicitaciones externas a las que puede ser expuesta 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 nuestro caso hemos buscado que el coeficiente de correlación de cada modelo, se ajuste lo máximo posible a la unidad.

- 4. Diagnóstico y análisis de curvas resultantes.** Luego de realizado el "Ajuste De Curvas", se procedió a realizar un análisis de los modelamientos obtenidos para cada experimento:

**Diagnóstico.** Luego de ajustar las curvas Esfuerzo – Deformación Unitaria a los modelamiento matemáticos resultantes; se define lo siguiente:

- Los modelamientos matemáticos que mejor se adaptan a los diferentes experimentos son congruentes a los establecidos por la bibliografía existente.
- Para el caso, 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; pero pudiendo ajustarse la curva a una función cuadrática sin afectar significativamente la tendencia del tramo elástico de nuestra curva.
- En consecuencia de lo anterior la forma de las funciones que dominan el comportamiento de las curvas de los diferentes ensayos son:

\* *Función Cuadrática* =  $Y = aX^2 + bX + c; a, b, c, \in \mathbf{R}; a \neq 0$

- 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.** Partiremos de la premisa que el comportamiento Esfuerzo-Deformación Unitaria debe de 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 anteriores, 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 la pruebas existen ciertos factores que producen estos desfases los cuales pueden ser:

- Que el deformímetro no este calibrado exactamente en cero.
- Que las caras de las probetas prismáticas no estén perfectamente paralelas, lo cual arroja deformaciones anómalas hasta que la máquina la “acomode”.
- 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 o apreciaciones.
- Que los produzca el redondeo de los resultados de los cálculos relativos al “Tratamiento Inicial de Datos”.

Dadas estas teorías explicativas de lo que habría podido suceder, afirmamos que el comportamiento Esfuerzo-Deformación Unitaria es como se expresa en las “Curvas Ajustadas”, a las cuales se las tienen que “desplazar horizontalmente” hasta hacerlas coincidir con el origen valiéndonos de criterios matemáticos relativos a funciones.

5. **Corrección de errores.** Como hemos deducido líneas arriba, los modelamientos matemáticos de los datos de los experimentos realizados son los correctos; en consecuencia solamente bastaría con desplazar dichas curvas horizontalmente a través del eje de las “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.

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

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

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

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

- **Construcción de la función lineal desplazada.** Líneas arriba se determinó 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:

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

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

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

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

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

Reemplazando (1) en (2)

$$\therefore \text{Si } f(X + K) = aX^2 + (b + 2K)X + (K^2 + c)$$

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

$$\Rightarrow f(X + K)$$

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

$$\Rightarrow f(X + K)$$

$$= aX^2 + \left( \frac{b(a - 1) \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{a} \right) X + \left( \frac{2b^2 - 4ac \pm 2b\sqrt{b^2 - 4ac}}{4a^2} + c \right) \quad (c)$$

La función cuadrática desplazada horizontalmente, quedaría definida por la fórmula:

$$Y = aX^2 + \left( \frac{b(a - 1) \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{a} \right) X + \left( \frac{2b^2 - 4ac \pm 2b\sqrt{b^2 - 4ac}}{4a^2} + c \right)$$

Dónde:

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.

X<sup>2</sup>: Variable de segundo grado del modelamiento matemático (Deformación Unitaria elevada al cuadrado, del correspondiente Esfuerzo).

**6. Formulación de funciones y construcción de curvas de comportamiento.** Una vez corregidos los errores y valiéndose de las fórmulas deducidas en el numeral anterior, con ayuda del programa Derive 6 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 procedió a realizar la tabulación respectiva y por ende la construcción de las “Curvas Ideales De Comportamiento” para los diferentes ensayos, lo que para nuestro criterio constituyen los “Resultados Iniciales” de los ensayos mecánicos especificados anteriormente.

## **2.3 Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Cemento**

El cemento es una sustancia conglomerante que, mezclado con agregados pétreos (árido grueso o grava, más árido fino o arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica; la misma que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo consistencia pétreo, denominado hormigón o concreto. Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil, su principal función es la de aglutinante.

**Definición de cemento.** Rivva (2000), define como cemento a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables.

### **2.3.2. Fibras de polipropileno Fibromac**

El polipropileno es un polímero termoplástico parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno. Es usado en una gran variedad de elementos que van desde empaques para alimentos, tejidos, hasta componentes del concreto. Tiene una resistencia nominal de tensión de 600 a 650 MPa, un módulo de elasticidad de 9.5 Gpa y una longitud de fibra de 50mm

Las fibras sintéticas se fabrican de materiales tales como acrílico, aramida, carbón, nylon, poliéster y polipropileno. En general, las fibras sintéticas se caracterizan por tener elevada resistencia a la tensión y, entre ellas se definen dos categorías: las de alto y las de bajo módulo de elasticidad.

Las principales ventajas de la adición de fibras sintéticas en el concreto son, en estado endurecido, el incremento de la tenacidad y de la resistencia al impacto y, en el estado fresco, el control de la contracción plástica. Adicionalmente, controla la aparición de fisuras durante la vida útil de la estructura y brinda mayor resistencia a la fatiga.

### **2.3.3. Agregados**

#### **Agregado fino**

La norma NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, define como agregado fino al proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz 9.51 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz 0.074 mm (N°200).

Según la norma NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, el agregado fino deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

Puede estar constituido de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente.

Deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.

#### **Agregado grueso**

La norma NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75 mm (N ° 4). El agregado grueso podrá consistir de grava o piedra partida de origen natural o artificial. El agregado grueso empleado en la preparación de concretos livianos podrá ser natural o artificial.

Según La norma NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, el agregado grueso deberá cumplir con los siguientes requerimientos:



- ✓ Deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa.
- ✓ Las partículas deberán ser químicamente estables y deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.
- ✓ La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- ✓ 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.
- ✓ La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 ½" y no más del 6% del agregado que pasa la malla de ¼".
- ✓ Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño nominal máximo del agregado grueso sea el mayor que pueda ser económicamente disponible, siempre que él sea compatible con las dimensiones y características de la estructura. Se considera que, en ningún caso el tamaño nominal máximo del agregado 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 refuerzos; paquetes de barras; torones; o ductos de presfuerzo.
- ✓ El agregado grueso empleado en concreto para pavimentos, en estructuras sometidas a procesos de erosión, abrasión o cavitación, no deberá tener una pérdida mayor del 50% en el ensayo de abrasión realizado de acuerdo a la norma NTP 400.019 y norma NTP 400.020, o la norma ASTM C 131.
- ✓ El lavado de las partículas de agregado grueso se deberá hacer con agua preferentemente potable. De no ser así, el agua empleada deberá estar libre de sales, materia orgánica, o sólidos en suspensión.

#### **2.3.4. Concreto.**

**Definición del Concreto.** Rivva (1998), define al concreto como un material artificial compuesto, el cual consiste en un medio ligante, denominado pasta, dentro del que se encuentran embebidas partículas de un medio denominado agregado.

La pasta es el resultado de la combinación química del cemento y el agua. Se le considera la fase continua del concreto, ya que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto, mientras que el agregado es la fase discontinua del concreto, dado que sus diversas partículas no están unidas o en contacto unas con otras, sino se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecidas.

#### **2.3.5. Agua**

En concreto el agua es el elemento por cual el cemento experimenta reacciones que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para producir un material sólido con los agregados.

Por la relación entre la calidad de aguas y sus usos, se establecen estándares y criterios de calidad específicos que debe reunir el agua para concreto, requisitos que generalmente vienen expresados como rangos cuantitativos de determinadas características fisicoquímicas y biológicas.

Básicamente se refieren a sus características físico-químicas y a sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto. Si el agua es potable, se supone que sus características físico-químicas son adecuadas para hacer concreto.

## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales y métodos que se utilizaron en esta investigación están separados en: cantera, determinación de las características físicas y mecánicas de los agregados, diseño de mezclas, elaboración de los especímenes, curado de los especímenes elaborados y la prueba de los especímenes a la compresión; en cada ítem se describen tanto los materiales, equipo y metodología (método de experimentación y procedimiento), para obtener los datos necesarios para el procesamiento de los resultados.

### 3.1. Procedimiento

#### 3.1.1. Cantera

##### Elección de la cantera

Teniendo en cuenta las normas técnicas peruanas; los agregados que se utilizaron para la elaboración de los especímenes fueron de origen pluvial, tanto el agregado fino (arena gruesa), como el agregado grueso (piedra chancada), provenientes de la cantera "La Banda" en el río Cajamarquino.

##### Ubicación de la cantera

Está ubicada en el distrito de Llacanora, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca; detallando su ubicación exacta a continuación:

- ✓ Sur: 7° 12' 28" de latitud Sur.
- ✓ Oeste: 78° 25' 04" de longitud Oeste.
- ✓ Altitud promedio: 2592 m.s.n.m.
- ✓ Temperatura: Varía entre los 5°C y los 22°C
- ✓ Topografía: Accidentada.

En las Figuras 3.1. y 3.2, mostradas a continuación, podemos observar la ubicación de la cantera:

Figura 3.1. Ubicación de la cantera “La Banda” Llacanora-Cajamarca.  
(Google earth 2014)

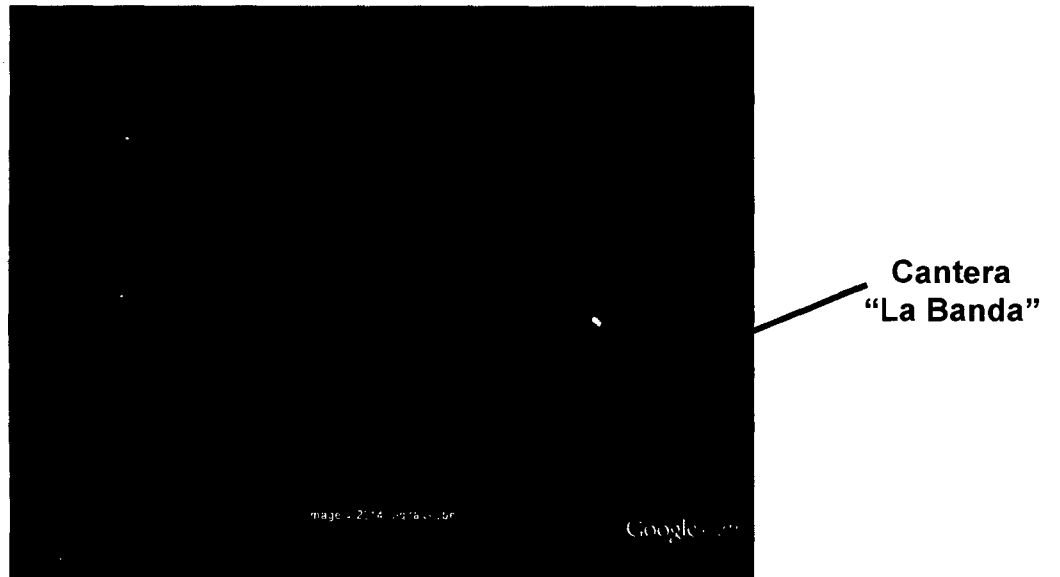
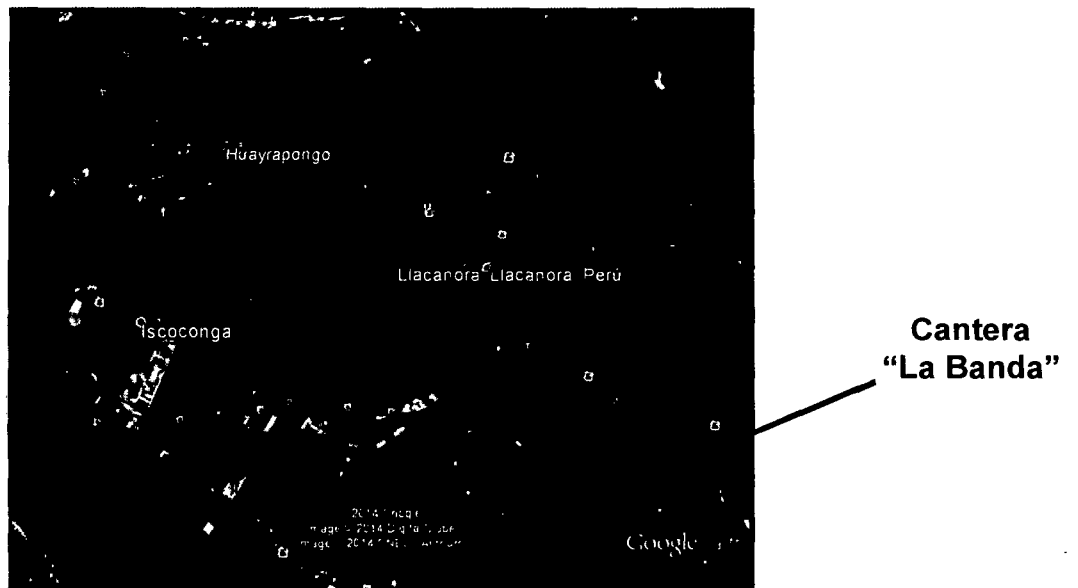


Figura 3.2. Ubicación de la cantera “La Banda” Llacanora-Cajamarca.  
(Google earth 2014)



### **3.1.2. Determinación de las características físicas y mecánicas de los agregados.**

#### **Materiales**

- Agregado fino de la cantera "La Banda".
- Agregado grueso la cantera "La Banda".
- Agua potable de la Ciudad Universitaria UNC.

#### **Equipo**

- Juego de tamices conformados por: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 3 1/2" y 4".
- Estufa a temperatura constante de 110 ° C ± 5 °C.
- Balanza, precisión de 0.5 gr. y capacidad de 5Kg.
- Cesta de malla de alambre, con abertura no mayor de 3 mm.
- Depósito adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua.
- Termómetro
- Barra compactadora de acero, circular, recta, de 5/8" de diámetro y 60 cm. de largo, con un extremo redondeado.
- Recipiente cilíndrico y de metal, suficientemente rígido para condiciones duras de trabajo.
- La Máquina de los Ángeles.

#### **Metodología**

Todos los ensayos realizados para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, siguieron el procedimiento dado en las especificaciones de las siguientes normas.

- **NTP 400.012:** Análisis granulométrico del agregado fino y grueso.
- **NTP 400.021:** Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.
- **NTP 400.022:** Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.
- **NTP 339.185:** Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

- **NTP 400.017:** Método de ensayo normalizado para determinar el peso unitario de los agregados.
- **NTP 400.018:** Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz 75um (N°200) por lavado en agregados.
- **NTP 400.019:** método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la abrasión del agregado grueso

### **3.1.3. Diseño de mezclas**

#### **Método de experimentación**

Se realizó el diseño de mezclas, para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  (concreto patrón).

Y los diseños de mezclas con los diferentes tipos de dosificaciones de fibras de polipropileno Fibromac (0.30%, 0.70% y 1.00%)

#### **Procedimiento**

Este diseño se realizó por el método de combinación de agregados detallado en ANEXOS.

### **3.1.4. Elaboración de especímenes**

#### **Materiales**

- Cemento Pacasmayo Tipo I. (ASTM C – 150)
- Agregado fino de la cantera “La Banda”.
- Agregado grueso de la cantera “La Banda”.
- Agua potable de la Ciudad Universitaria
- Fibras de polipropileno Fibromac.

#### **Equipo**

- Balanza con capacidad 30 kg.
- Probeta graduada de  $1000 \text{ cm}^3$ .
- Cono de abrahms.
- Mezcladora de 2.5pies<sup>3</sup>.
- Recipientes para pesar los materiales.
- Moldes

- Herramientas: palanas, badilejo, carretilla, baldes, cucharón, reglas graduadas, wincha, maso de goma, etc.

### **Metodología**

Se siguió el procedimiento dado en las siguientes normas

- NTP 339.035 ASTM C143: Asentamiento del concreto fresco
- NTP 339.033 - ASTM C31: Elaboración y curado de probetas cilíndricas en obra.

Se incorporó a las mezclas las diferentes dosificaciones de las fibras de polipropileno Fibromac (0.30%, 0.70 % y 1.00% del peso del cemento).

### **3.1.5. Curado de los especímenes en el laboratorio**

#### **Equipo**

- Pozo de laboratorio UNC

#### **Metodología**

Se realizó de acuerdo a las especificaciones de la NTP 339.116 Curado de Probetas de Concreto.

### **3.1.6. Prueba de especímenes a compresión**

#### **Equipo**

- Prensa hidráulica.
- Deformímetro.

#### **Metodología**

Para realizar la prueba en especímenes de concreto de las diferentes muestras elaboradas, se procedió de acuerdo a las especificaciones dadas en las normas: NTP 339.034 - ASTM C-39.

## **3.2 Tratamiento**

### **3.2.1 Tipo de Investigación.**

La presente investigación es del tipo Experimental y Descriptiva.

- **Experimental:** Debido a que se manipulan las variables; la que interviene en la elaboración de los especímenes de concreto (fibras de polipropileno Fibromac) y la variable (resistencia a la compresión).

- **Descriptiva:** Porque se describió el procedimiento y los pasos a seguir en el estudio propuesto y se analizaron los datos obtenidos.

Puesto que la investigación fue de tipo experimental y descriptiva se procedió a elaborar la Tabla 3.1

Tabla 3.1. Factores, niveles y tratamientos en estudio

Variable	Niveles	Tratamientos	Código
Dosificación de aditivo (D), Fibras de polipropileno Fibromac.	D1 = 0.0%	Dosificación de 0.0% y Tiempo de vida de 7 días.	D1T1
	D2 = 0.3%	Dosificación de 0.0% y Tiempo de vida de 14 días.	D1T2
	D3 = 0.7%	Dosificación de 0.0% y Tiempo de vida de 21 días.	D1T3
	D4 = 1.0%	Dosificación de 0.3% y Tiempo de vida de 7 días.	D2T1
Tiempo de vida del concreto en días (T)	T1 = 7 días	Dosificación de 0.3% y Tiempo de vida de 14 días.	D2T2
		Dosificación de 0.3% y Tiempo de vida de 21 días.	D2T3
	T2 = 14 días	Dosificación de 0.7% y Tiempo de vida de 7 días.	D3T1
		Dosificación de 0.7% y Tiempo de vida de 14 días.	D3T2
		Dosificación de 0.7% y Tiempo de vida de 21 días.	D3T3
	T3 = 21 días	Dosificación de 1.0% y Tiempo de vida de 7 días	D4T1
		Dosificación de 1.0% y Tiempo de vida de 14 días.	D4T2
	Dosificación de 1.0% y Tiempo de vida de 21 días.	D4T3	



### 3.2.2 Tipo de Análisis.

De acuerdo a la naturaleza de los datos, se realizó un análisis Cuantitativo, puesto que: Se recogió, procesó y analizó datos cuantitativos o numéricos sobre variables previamente determinadas. Esto da una connotación que va más allá de un mero listado de datos organizados como resultado; pues estos datos están en total armonía con las variables que se declararon desde el principio y los resultados obtenidos van a brindar una realidad específica a la que estos están sujetos.

En el presente trabajo se utilizó el método analítico-deductivo-reflexivo por cuanto al todo se lo ha separado en partes para conocer y analizar sus resultados.

Este proceso comenzó con la idea matriz o hipótesis a demostrar. Una vez definida, conceptualizada y estructurada la hipótesis, se analiza su factibilidad de ejecución, teniendo en cuenta los recursos materiales y humanos, y luego se procede a diseñar un programa a seguir.

### 3.2.3. Técnicas.

Esta investigación se realizó a través de la aplicación de tablas, proporciones y procedimientos establecidos en las Normas:

- ASTM C 33: Especificación Normalizada de Agregados para Concreto.
- ASTM C 150: Especificación Normalizada para Cemento Portland.

Para el tratamiento y procesamiento de datos de utilizó el método de mínimos cuadrados y modelamiento matemático

### 3.2.4. Población.

- **Población:** Se considera como población a las probetas de concreto elaborados.
- **Muestra:** Se considerará como muestra a las 45 probetas de concreto elaborados. De las cuales: 9 probetas patrón, para encontrar el diseño que se aproxime más al diseño original y las 36 probetas restantes: 9 probetas con 0.0% de fibras, 9 probetas con 0.3% de fibras, 9 probetas con 0.7% de fibras y las 9 restantes con 1.0% de fibras de polipropileno Fibromac.

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Características físicas y mecánicas de los agregados

Las características físicas y mecánicas de los agregados de la cantera “La Banda” de Llacanora - Cajamarca, se obtuvieron del promedio de los datos obtenidos de tres ensayos consecutivos de los agregados, a continuación se presentan los resultados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Características físicas y mecánicas de los agregados

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA OTUZCO</b>	<b>A. FINO</b>	<b>A. GRUESO</b>
MÓDULO DE FINURA:	3.15	6.89
PESO ESPECÍFICO DE MASA	2.45 gr/cm <sup>3</sup>	2.55 gr/cm <sup>3</sup>
PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	2.51 gr/cm <sup>3</sup>	2.58 gr/cm <sup>3</sup>
PESO ESPECÍFICO NOMINAL O APARENTE	2.58 gr/cm <sup>3</sup>	2.63 gr/cm <sup>3</sup>
ABSORCIÓN	2.04 %	1.09 %
CONTENIDO DE HUMEDAD	4.26 %	2.40 %
PESO UNITARIO SECO SUELTO	1660 kg/m <sup>3</sup>	1349 kg/m <sup>3</sup>
PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	1861 kg/m <sup>3</sup>	1535 kg/m <sup>3</sup>
PERFIL	-----	ANGULAR
TAMAÑO MÁXIMO	-----	1/2"

La cantera que ha sido elegida para la presente investigación fue elegida por presentar agregados limpios y de mejor calidad respecto que otras canteras existentes en Cajamarca. Esta cantera está constituida de grandes acumulaciones de material fluvial en ambos márgenes del río Cajamarquino.

De los resultados de los ensayos realizados al agregado fino de la cantera “La Banda” Llacanora – Cajamarca, se puede señalar que:

- ✓ La granulometría del agregado fino se ajustó a los límites de gradación indicados en la norma NTP 400.037.
- ✓ El módulo de finura y el peso específico del agregado fino indicó que es un agregado adecuado para elaborar concretos.
- ✓ El peso unitario del agregado fino se ajustó 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 realizados al agregado grueso de la cantera “La Banda” Llacanora – Cajamarca, se puede señalar que:

- ✓ El tamaño máximo nominal del agregado grueso fue elegido teniendo en consideración que el concreto elaborado en la presente investigación se utilizará en concretos proyectados, prefabricados, pavimentos y.
- ✓ La granulometría del agregado grueso se ajustó aproximadamente al límite de gradación N° 67 indicado en la norma ASTM C 33, desviándose en la parte superior de la curva hacia la derecha, lo cual es un indicador de que el agregado grueso tiene un exceso de partículas finas.
- ✓ El módulo de finura y el peso específico del agregado grueso indica que es un agregado adecuado para elaborar concretos de alta resistencia.
- ✓ El peso unitario del agregado grueso se ajusta a los parámetros establecidos en la norma NTP 400.017, lo cual es un indicador de calidad del agregado.

## 4.2 Resistencia y módulo de elasticidad del concreto.

Los resultados de la rotura de los especímenes de concreto se detallan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Resistencias y módulos de elasticidad

CÓDIGO	ESFUERZO DE ROTURA	DEF. DE ROTURA	RESISTENCIA PROMEDIO	MÓDULO DE ELASTICIDAD	MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO
D1T1	182.21	0.86	188.03	200351.31	199835.23
	195.44	0.88		202908.84	
	186.43	0.88		196245.54	
D1T2	231.74	0.90	226.95	222356.00	226163.07
	225.60	0.88		222141.09	
	223.52	0.87		233992.12	
D1T3	248.49	0.91	244.76	224785.04	230366.34
	241.72	0.90		236000.26	
	244.08	0.90		230313.73	
D2T1	207.99	0.88	206.23	215931.70	212657.42
	206.69	0.88		212660.76	
	204.01	0.88		209379.81	
D2T2	251.29	0.90	248.93	235826.63	233840.59
	247.34	0.90		234249.31	
	248.16	0.90		231445.82	
D2T3	268.04	0.91	268.59	245525.32	244954.83
	270.72	0.92		245241.00	
	267.01	0.91		244098.18	
D3T1	190.49	0.86	185.50	207912.48	205133.65
	179.88	0.86		201867.81	
	186.12	0.86		205620.67	
D3T2	224.11	0.88	219.70	224557.64	224805.06
	215.04	0.87		227388.86	
	219.96	0.88		222468.68	
D3T3	236.09	0.89	240.64	230167.69	232153.76
	245.70	0.90		232386.31	
	240.12	0.90		233907.27	
D4T1	189.57	0.87	190.18	206325.58	207054.59
	196.09	0.87		210958.36	
	184.89	0.87		203879.82	
D4T2	235.31	0.89	229.58	230391.19	227096.10
	222.58	0.88		225047.23	
	230.85	0.90		225849.89	
D4T3	249.63	0.90	248.54	236116.94	236503.26
	253.50	0.90		235411.50	
	242.48	0.89		237981.33	

En las figuras 4.1, 4.2 y 4.3; observamos los resultados de las pruebas a la resistencia a la compresión de los especímenes con diferentes dosificaciones de fibra de polipropileno Fibromac, para los 7, 14 y 21 días de vida de los especímenes.

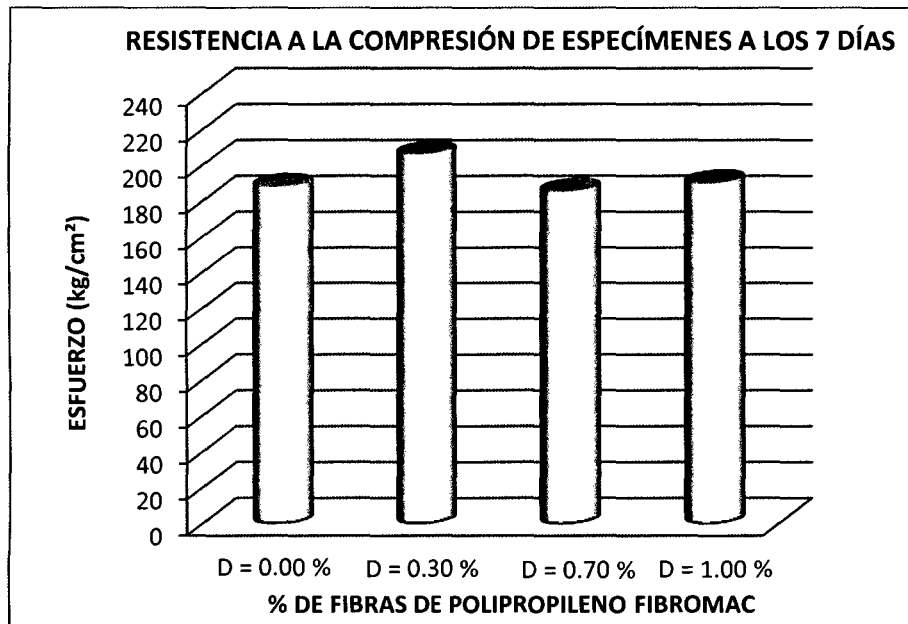


Figura 4.1. Resistencia a la compresión de especímenes de 7 días de vida con diferentes dosificaciones de las fibras de polipropileno Fibromac.

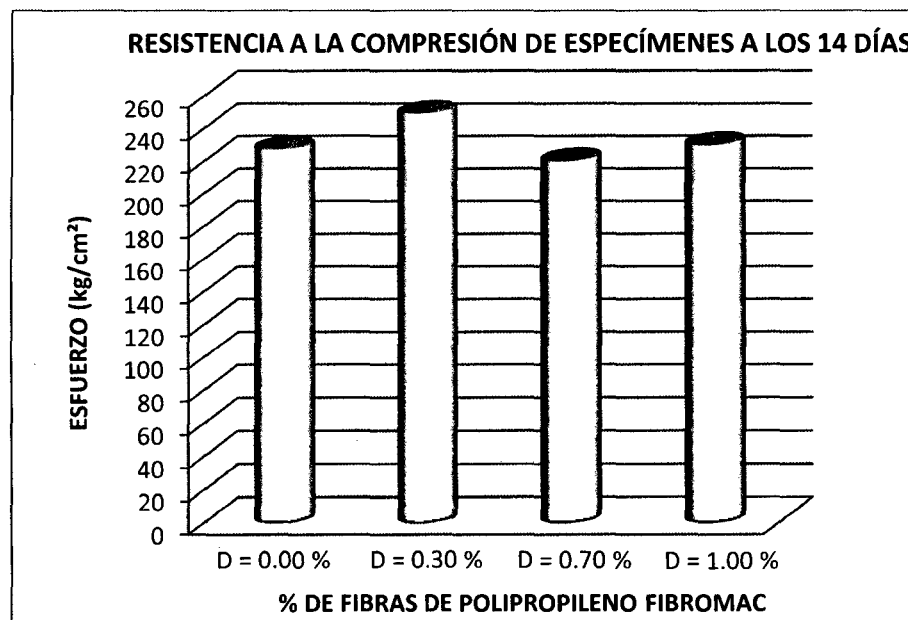


Figura 4.2. Resistencia a la compresión de especímenes de 14 días de vida con diferentes dosificaciones de las fibras de polipropileno Fibromac.

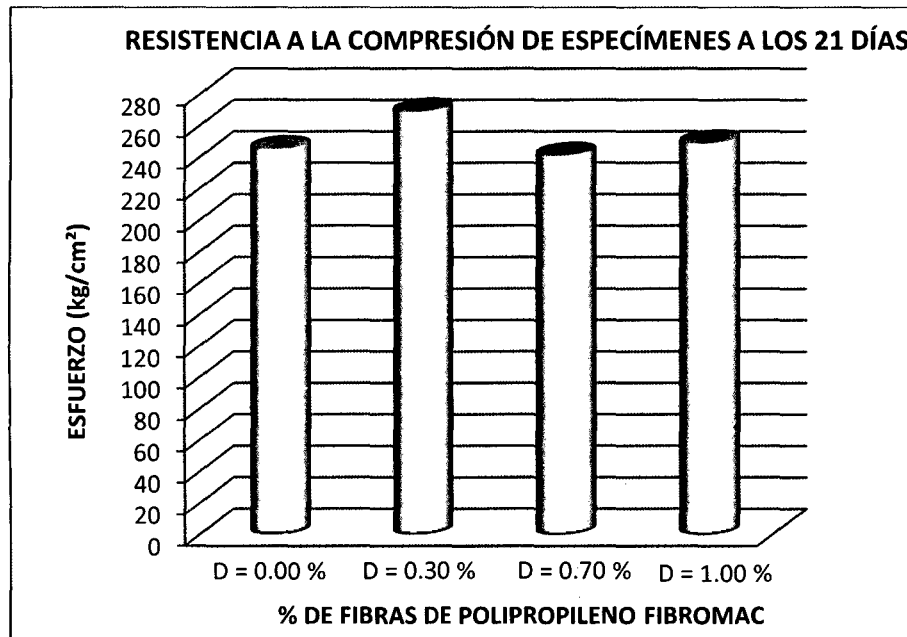


Figura 4.3. Resistencia a la compresión de especímenes de 21 días de vida con diferentes dosificaciones de las fibras de polipropileno Fibromac.

De las Figuras anteriores podemos observar:

- La resistencia a compresión del concreto aumenta sólo en la adición de fibras de polipropileno Fibromac en la dosificación de 0.30 % del peso del cemento.
- En las otras dosificaciones no existe una variación considerable en la resistencia a compresión.

En las figuras 4.4,4.5 y 4.6; vemos un comparativo entre los módulos de elasticidad de los especímenes con las diferentes dosificaciones de fibras de polipropileno Fibromac, para los 7,14 y 21 días de vida de los especímenes.

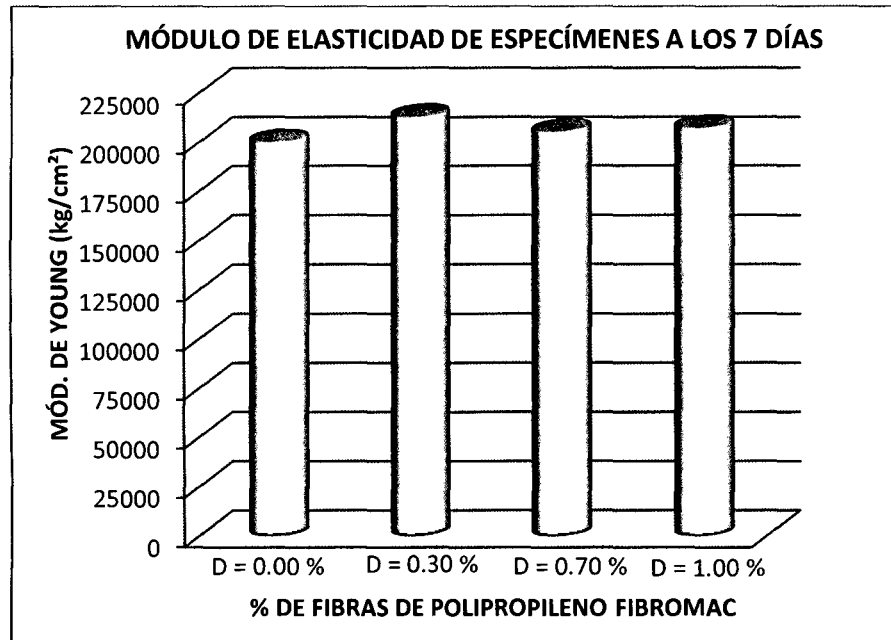


Figura 4.4. Módulo de elasticidad de especímenes de 7 días de vida con diferentes dosificaciones de las fibras de polipropileno Fibromac.

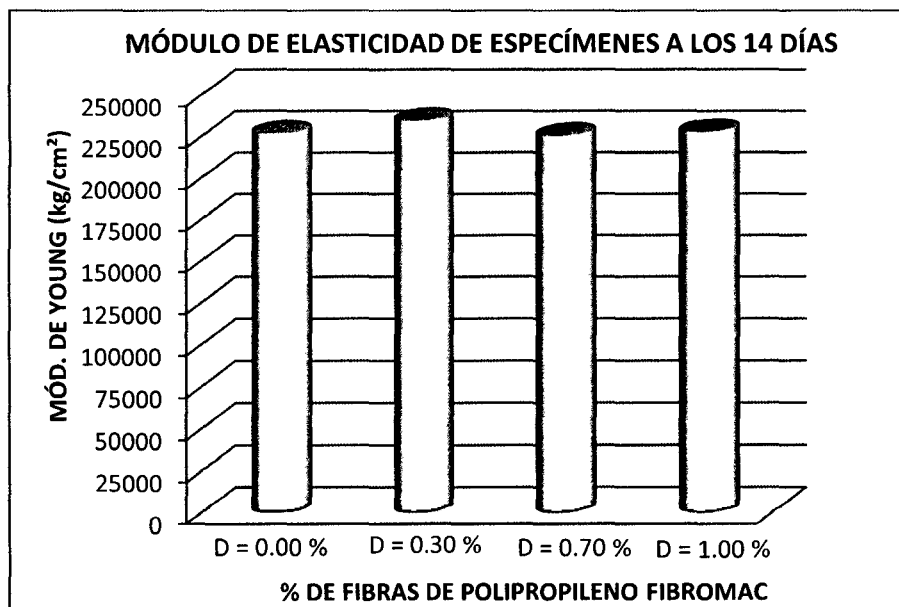


Figura 4.5. Módulo de elasticidad de especímenes de 14 días de vida con diferentes dosificaciones de las fibras de polipropileno Fibromac.

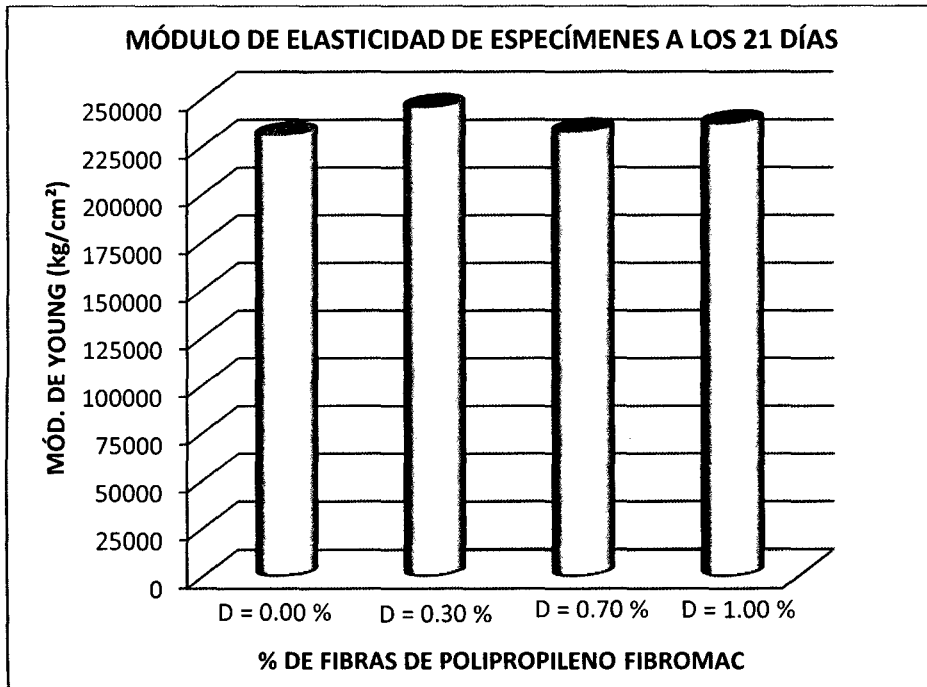


Figura 4.5. Módulo de elasticidad de especímenes de 21 días de vida con diferentes dosificaciones de las fibras de polipropileno Fibromac.

De las Figuras anteriores, puedo señalar:

- No existe una variación considerable en el módulo de elasticidad, con la incorporación de las diferentes dosis de fibras de polipropileno Fibromac.



## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Para la dosificación del aditivo Fibromac (fibras de polipropileno) del 0.30% del peso del cemento, se tiene un incremento del 9.74 % en la resistencia a la compresión a los 21 días.
- Las dosificaciones del 0.70 % y 1.00 % las variaciones en la resistencia a compresión son -1.68 % y 1.54 %, respectivamente, a los 21 días.
- La incorporación del aditivo Fibromac (fibras de polipropileno), no tiene un aumento considerable en la resistencia a compresión en un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados de la cantera "La Banda" de Llacanora Cajamarca, en las dosis utilizadas; excepto en la de 0.30 % donde se observa un ligero incremento en la resistencia a compresión.

## RECOMENDACIONES

- Debido al bajo aumento en el porcentaje de resistencia a la compresión, no es conveniente el uso de las fibras de polipropileno Fibromac.
- Este estudio no es definitivo, solo trata de ayudar a comprender mejor el concepto de concreto elaborado con aditivos, sus beneficios y limitaciones. Por lo que es recomendable una mayor investigación sobre el tema, con el uso de otras dosificaciones de aditivo Fibromac (fibras de polipropileno); en especial en dosis cercanas a las que se encontró mejor resultado (0.30 %).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lezama Leiva, JL. 1996. Tecnología del concreto. Cajamarca-Perú, S/E, UNC.
- Rivva López, E. 1998. Tecnología del Concreto. Lima-Perú. Hozlo S.CR.L., 290.
- Rivva López, E. 2000. Naturaleza y materiales del concreto. Lima-Perú. Hozlo S.CR.L., 290.
- Norma ASTM C 33: Especificación Normalizada de Agregados para Concreto.
- Norma ASTM C 150: Especificación Normalizada para Cemento Portland
- NTP 400.012: Análisis granulométrico del agregado fino y grueso.
- NTP 400.021: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.
- NTP 400.022: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.
- NTP 339.185: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- NTP 400.017: Método de ensayo normalizado para determinar el peso unitario de los agregados.
- NTP 400.018: Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz 75um (N°200) por lavado en agregados.
- NTP 400.019: método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la abrasión del agregado grueso.
- NTP 339.035 ASTM C143: asentamiento del concreto fresco
- NTP 339.033 - ASTM C31: elaboración y curado de probetas cilíndricas en obra.
- normas NTP 339.034 - ASTM C-39.

## ANEXOS

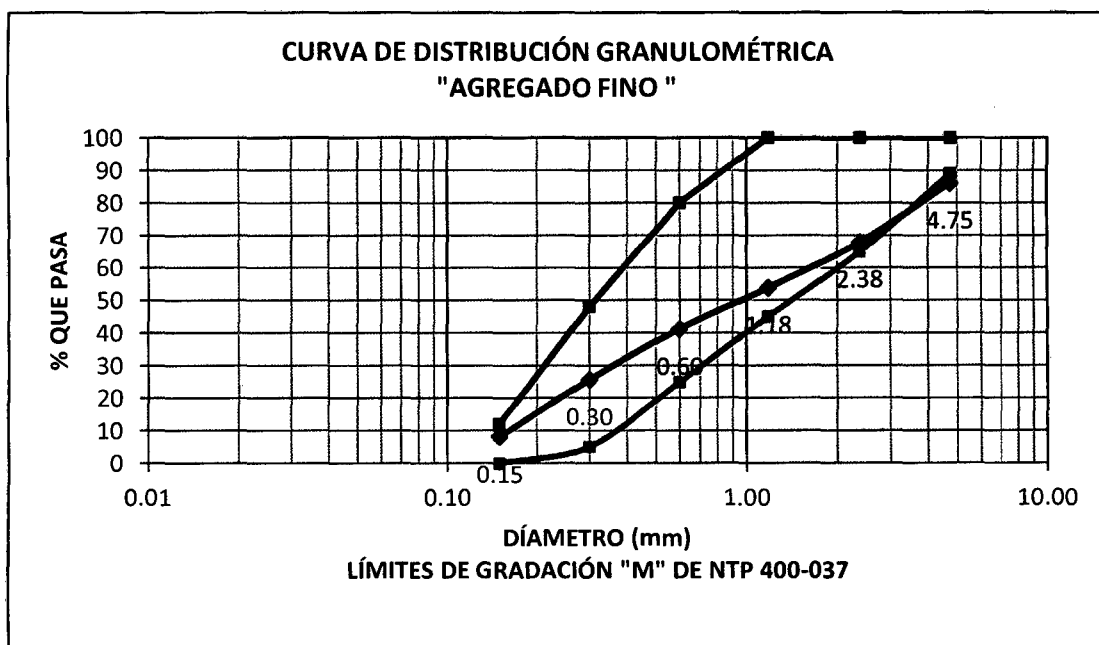
### CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO:

#### 1. Análisis granulométrico en seco

##### ENSAYO 01. AGREGADO FINO (NTP 400.011 )

Peso muestra secada al horno = **500.00g**

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA	USO GRANULOMETRICO M	
4	4.75	69.50	13.90	13.90	86.10	89	100
8	2.38	91.00	18.20	32.10	67.90	65	100
16	1.18	70.30	14.06	46.16	53.84	45	100
30	0.60	62.80	12.56	58.72	41.28	25	80
50	0.30	77.80	15.56	74.28	25.72	5	48
100	0.15	88.30	17.66	91.94	8.06	0	12
200	0.07	28.80	5.76	97.70	2.30	<b>MODULO FINURA MF = 3.17</b>	
Cazoleta		11.50	2.30	100.00	0.00		



$$\% \text{ Ret. A. T (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)$$

100

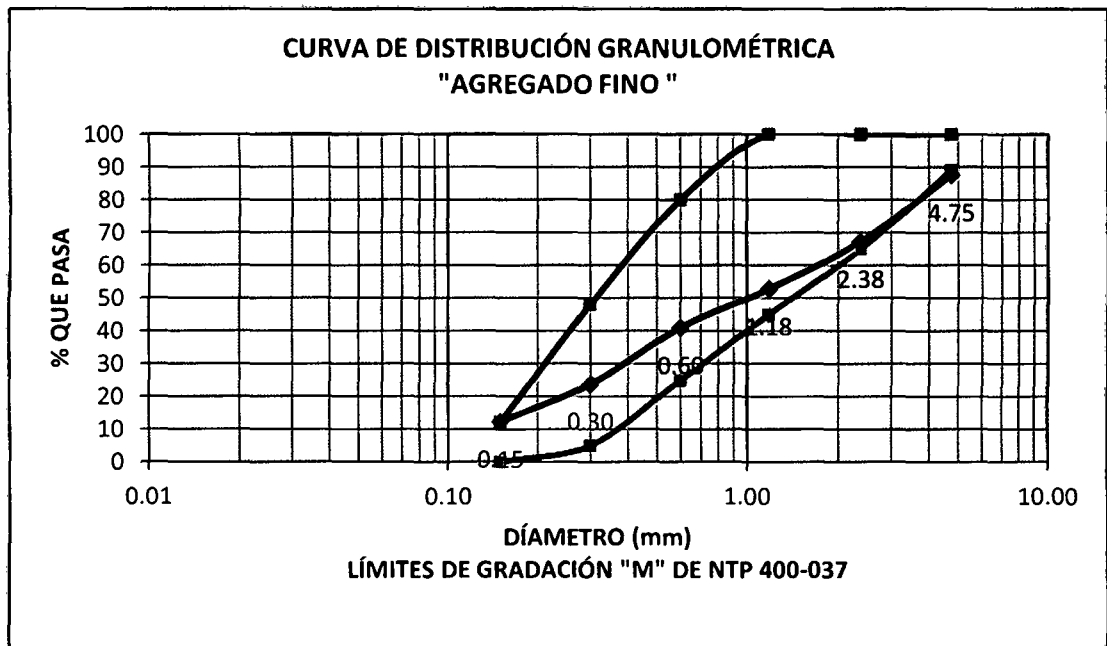
$$MF = \frac{13.9 + 32.1 + 46.16 + 58.72 + 74.28 + 91.94}{100}$$

$$MF = 3.17$$

**ENSAYO 02. AGREGADO FINO (NTP 400.011 )**

Peso muestra secada al horno = **500.00g**

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA	USO GRANULOMETRICO M	
4	4.75	62.00	12.40	12.40	87.60	89	100
8	2.38	101.70	20.34	32.74	67.26	65	100
16	1.18	72.40	14.48	47.22	52.78	45	100
30	0.60	58.80	11.76	58.98	41.02	25	80
50	0.30	86.10	17.22	76.20	23.80	5	48
100	0.15	57.60	11.52	87.72	12.28	0	12
200	0.07	51.60	10.32	98.04	1.96	<b>MODULO FINURA MF = 3.15</b>	
Cazoleta		9.80	1.96	100.00	0.00		



$$MF = \frac{\% \text{ R. A. T. (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

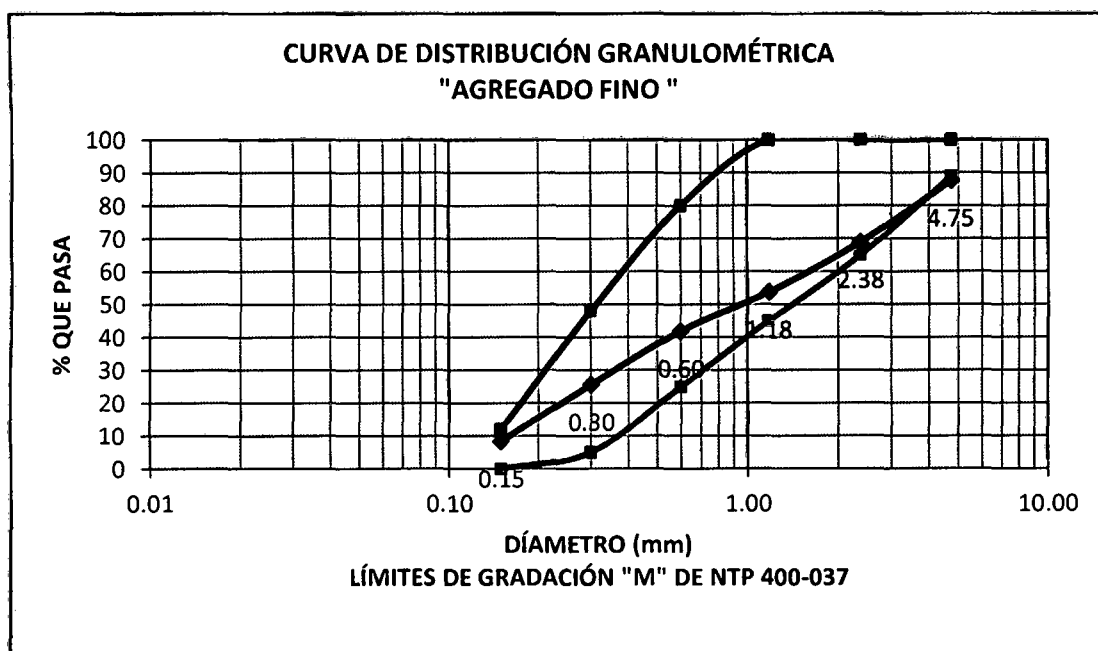
$$MF = \frac{12.4 + 32.74 + 47.22 + 58.98 + 76.2 + 87.72}{100}$$

$$MF = 3.15$$

**ENSAYO 03. AGREGADO FINO (NTP 400.011 )**

Peso muestra secada al horno = **500.00g**

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA	USO GRANULOMETRICO M	
4	4.75	61.60	12.32	12.32	87.68	89	100
8	2.38	93.70	18.74	31.06	68.94	65	100
16	1.18	75.60	15.12	46.18	53.82	45	100
30	0.60	59.70	11.94	58.12	41.88	25	80
50	0.30	81.30	16.26	74.38	25.62	5	48
100	0.15	85.90	17.18	91.56	8.44	0	12
200	0.07	27.00	5.40	96.96	3.04	<b>MODULO FINURA</b>	
Cazoleta		15.20	3.04	100.00	0.00	<b>MF = 3.14</b>	



$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

$$MF = \frac{12.32 + 31.06 + 46.18 + 58.12 + 74.38 + 91.56}{100}$$

$$MF = 3.14$$

<b>MÓDULO DE FINURA PROMEDIO =</b>	<b>3.15</b>
------------------------------------	-------------

A) PESO ESPECIFICO Y ABSORCION A. FINO

N°	ENSAYO N°	1	2	3	PROMEDIO	
Wo	Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr).	490.00	490.00	490.00		
V	Volumen del frasco (cm3)	500.00	500.00	500.00		
Va	Peso en (gr). o Volumen (cm3) del agua añadia al frasco	301.00	300.00	300.00		
	a. Peso Específico de Masa(gr/cm <sup>3</sup> ): [Pe = Wo/(V-Va)]	2.462	2.450	2.450		2.45
	b. Peso específico de Masa Saturada con su Superficie Seca(gr/cm <sup>3</sup> ): [P.e.s.s.s = 500/(V - Va)]	2.513	2.500	2.500		2.51
	c. Peso Específico Aparente(gr/cm <sup>3</sup> ):	2.593	2.579	2.579		2.58
	d. Absorción (%): Ab = {(500 - Wo)*100} / Wo}	2.041	2.041	2.041	2.04	

B) PESO UNITARIO SUELTO DEL A. FINO

ENSAYO N°	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (kg.)	4.215	4.215	4.215
Peso del recipiente + material(Kg.)	19.94	20.250	20.330
Peso del material (kg.)	15.725	16.035	16.115
Volumen molde (m3)	0.00961	0.00961	0.00961
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1635.595	1667.839	1676.160
<b>Promedio (Kg/m3)</b>	<b>1659.865</b>		

C) PESO UNITARIO COMPACTADO DE A. FINO

ENSAYO N°	1	2	3
Peso del recipiente (kg.)	4.215	4.215	4.215
Peso del recipiente + material(Kg.)	21.990	22.2	22.14
Peso del material (kg.)	17.775	17.985	17.925
Volumen molde (m3)	0.00961	0.00961	0.00961
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1848.820	1870.663	1864.422
<b>Promedio (Kg/m3)</b>	<b>1861.302</b>		

D) CONTENIDO DE HUMEDAD A. FINO

ENSAYO N°	1	2	3
Peso recipiente (gr)	83	85	80
Peso de (Muestra Humeda + recipiente) (gr)	800	800	800
Peso de (Muestra Seca + recipiente) (gr)	768	769	765
Peso del agua (gr)	29	30	29.00
Peso de la muestra seca (gr)	<b>685</b>	<b>684</b>	<b>685</b>
Contenido de Humedad [%W]	4.167	4.031	4.575
<b>Promedio del Contenido de Humedad [%W]</b>	<b>4.26</b>		

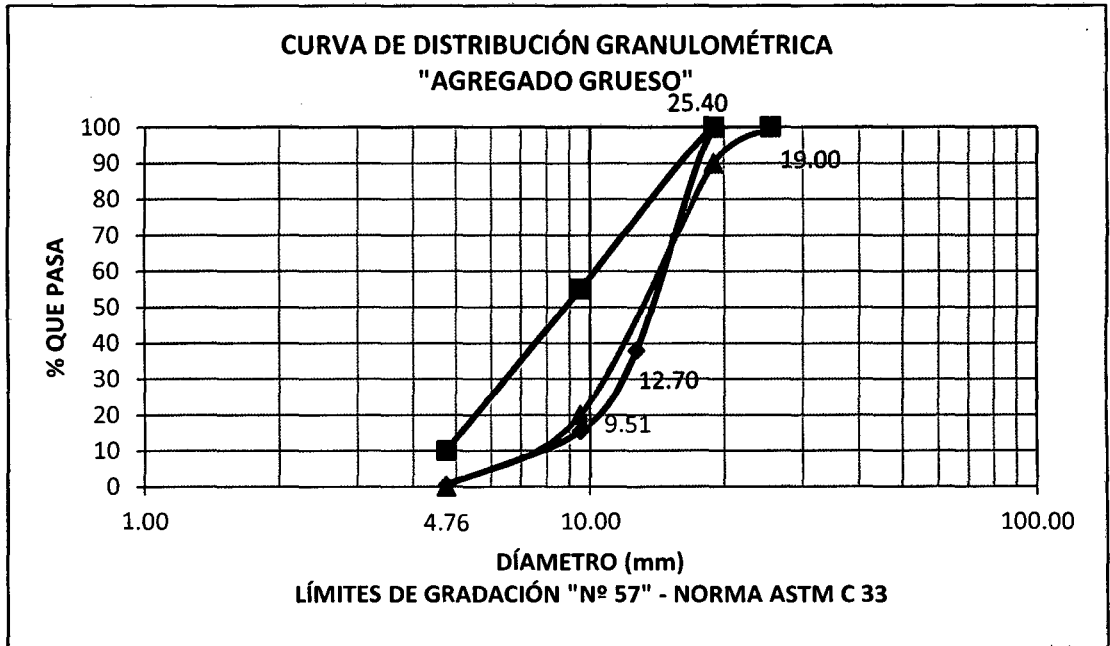
# CALCULO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL AGREGADO GRUESO

## AGREGADO GRUESO

### 1. Análisis granulométrico en seco

P. Muestra secada horno (Ensayo 01) 10.00 Kg

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA	USO GRANULOMETRICO "67"	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.70	6208.80	62.09	62.09	37.91		
3/8"	9.51	2241.50	22.42	84.50	15.50	20	55
4	4.76	1499.70	15.00	99.50	0.50	0	10
Cazoleta		0.00	0.00	99.50	0.50	0	5



D10 = 6.261  
D30 = 9.953  
D60 = 15.607

Cu = 2.493  
Cc = 1.014

$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (1", 3/4", 3/8", N°4)+500}}{100}$$

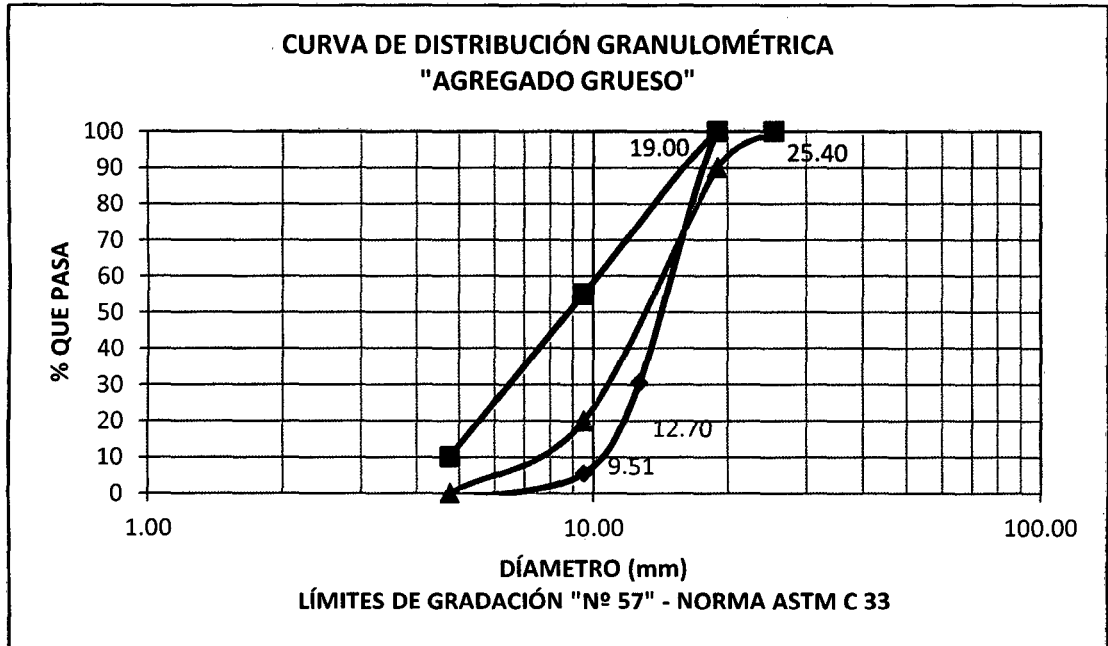
$$MF = \frac{0+0+84.5+99.5+500}{100}$$

MF= 6.84



P. Muestra secada horno (Ensayo2) 10.00 Kg

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA	USO GRANULOMETRICO "67"	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.70	6938.90	69.39	69.39	30.61		
3/8"	9.51	2512.30	25.12	94.51	5.49	20	55
4	4.76	786.70	7.87	102.38	-2.38	0	10
Cazoleta		0.00	0.00	102.38	-2.38	0	5



D10 = 6.261                      Cu = 2.493  
D30 = 9.953                      Cc = 1.014  
D60 = 15.607

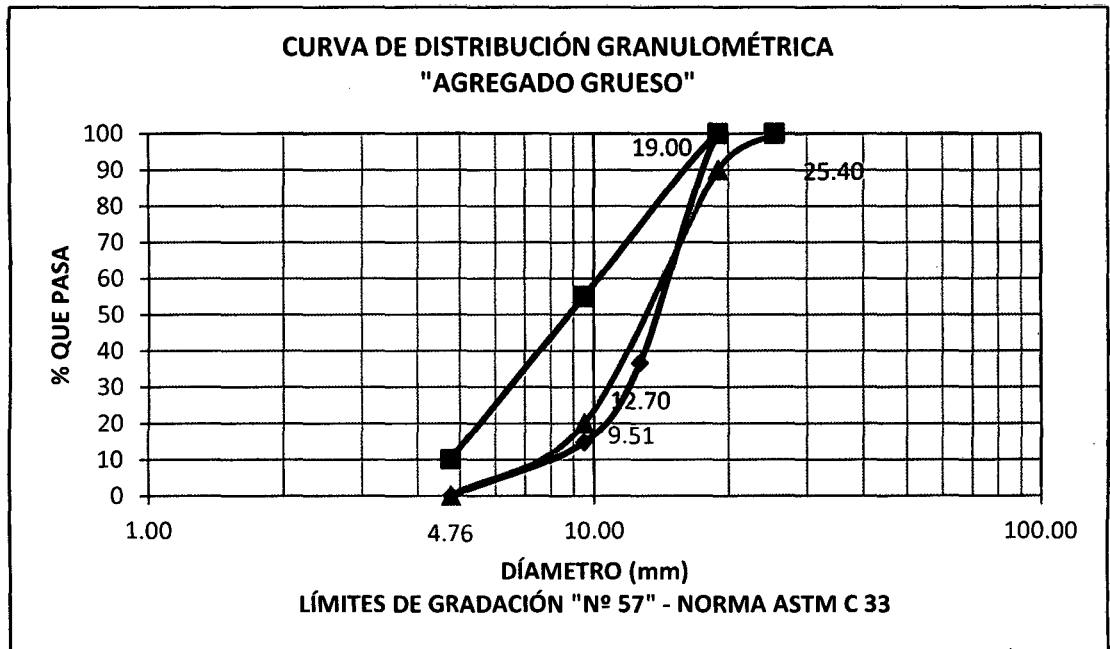
$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (1", 3/4", 3/8", N°4)+500}}{100}$$

$$MF = \frac{0+0+94.51+102.38+500}{100}$$

MF= 6.97

P. Muestra secada horno (Ensa.03) 10.00 Kg

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA	USO GRANULOMETRICO "67"	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.70	6334.80	63.35	63.35	36.65		
3/8"	9.51	2193.90	21.94	85.29	14.71	20	55
4	4.76	1459.70	14.60	99.88	0.12	0	10
Cazoleta		0.00	0.00	99.88	0.12	0	5



D10 = 6.261                      Cu = 2.493  
D30 = 9.953                      Cc = 1.014  
D60 = 15.607

$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (1", 3/4", 3/8", N°4)+500}}{100}$$

$$MF = \frac{0+0+85.29+99.88+500}{100}$$

MF= 6.85

**MÓDULO DE FINURA PROM. = 6.89**

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO**

ENSAYO N°	1	2	3	PROMEDIO	
Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr).	5000	5000	5000		
Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr).	5053	5050.9	5060.1		
Peso en el agua de la muestra saturada (gr)	3090	3105	3096		
a. Peso Específico de Masa( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ): $[P_e = A/(B-C)]$	2.547	2.570	2.546		2.55
b. Peso específico de Masa Saturada con su superficie seca( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ): $[P.e.s.s = B/(B - C)]$	2.574	2.596	2.576		2.58
c. Peso Específico Aparente( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ): $P.e.a = A/(A-C)$	2.618	2.639	2.626	2.63	
d. Absorción (%): $\{A_b = [(B - A)/A]*100\}$	1.060	1.018	1.202	1.09	

**PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO**

ENSAYO N°	1	2	3
Peso del recipiente (kg.)	4.215	4.215	4.215
Peso del recipiente + material(Kg.)	17.19	17.090	17.270
Peso del material (kg.)	12.975	12.875	13.055
Volumen molde (m3)	0.00961	0.00961	0.00961
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1349.561	1339.160	1357.882
<b>Promedio (Kg/m3)</b>	<b>1348.867</b>		

**PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO**

ENSAYO N°	1	2	3
Peso del recipiente (kg.)	4.215	4.215	4.215
Peso del recipiente + material(Kg.)	18.82	19.070	19.030
Peso del material (kg.)	14.605	14.855	14.815
Volumen molde (m3)	0.00961	0.00961	0.00961
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1519.101	1545.104	1540.944
<b>Promedio (Kg/m3)</b>	<b>1535.050</b>		

**CONTENIDO DE UMEDAD AGREGADO GRUESO**

ENSAYO N°	1	2	3
Peso recipiente (gr)	80.5	80.5	80.5
Peso de (Muestra Humeda + recipiente) (gr)	1180.3	1161	1169.4
Peso de (Muestra Seca + recipiente) (gr)	1152	1135	1147
Peso del agua (gr)	28.30	26	22.40
Peso de la muestra seca (gr)	1071.5	1054.5	1066.5
Contenido de Humedad [%W]	2.641	2.466	2.100
<b>Promedio del Contenido de Humedad [%W]</b>	<b>2.402</b>		

## DISEÑO DE MEZCLAS.

### DISEÑO DE MEZCLA METODO MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS PARA $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

CANTERA : "LA BANDA" LLACANORA - CAJAMARCA (RIO CAJAMARQUINO)

#### 1.- DATOS

Resistencia a compresión =  $f_c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$

Características de los materiales:

Tipo de cemento = **Cemento Pacasmayo Tipo I**

Cemento Peso específico = **3.11 gr/cm<sup>3</sup>**

Agua Potable de la Ciudad Universitaria

#### Agregados : Características

	A. FINO	A. GRUESO
Peso específico de Masa =	2.450 gr/cm <sup>3</sup>	2.550 gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto=	1660.000 kg/m <sup>3</sup>	1349.000 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado=	1861.00 kg/m <sup>3</sup>	1535.000 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico superficialmente seco=	2.510 gr/cm <sup>3</sup>	2.582 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura =	3.150	6.890
Contenido de Humedad =	4.26 %	2.40 %
Absorción =	2.04 %	1.09 %
Partículas menores a #200 =	---	
Perfil =		Angular
T.M.N =	---	1

#### 2.- SELECCIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA

$$f_{cr} = 1.2 f_c^* \quad (\text{tabla N}^\circ 1.10)$$

Por lo tanto =  $f_{cr} = 252.00 \text{ kg/cm}^2$

#### 3.- SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

TMN =  $\frac{1}{2}$  DEL ENSAYO GRANULOMETRICO

#### 4.- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

SLUMP  $3''$  (tabla N° 1.11)

#### 5.- SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA DE MEZCLADO

Agua de mezclado  $216 \text{ lt}$  (tabla N° 1.12)

Contenido de aire atrapado =  $2.5 \%$  (tabla N° 1.13)  
Según el TMN

## 6.- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

### 6.1 - POR RESISTENCIA SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

De la (tabla N° 14), se tiene:

$$\begin{array}{r}
 f_{cr} \\
 35.00 \left\{ \begin{array}{l} 280.00 \\ 252.00 \\ 245.00 \end{array} \right\} 28.00
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 A/C \\
 -0.05 \left\{ \begin{array}{l} 0.60 \\ A/C \\ 0.64 \end{array} \right\} 0.595-A/C
 \end{array}$$

$$\frac{35.00}{-0.05} = \frac{28.00}{0.595-A/C}$$

$$0.595-A/C = -0.036$$

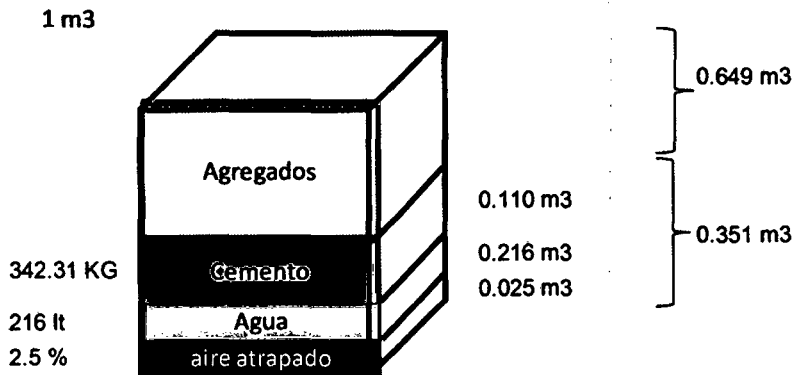
$$A/C = 0.631$$

### 6.2 - SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C =

$$0.63$$

### 6.3 - SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO

$$\begin{array}{l}
 A/C = 0.63 \\
 A = 216.00 \text{ lt} \\
 C = 342.31 \text{ KG}
 \end{array}$$



## 7.- DISEÑO POR MÉTODO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

$$\begin{array}{l}
 \text{Módulo de finura A. Fino (mf)} = 3.15 \\
 \text{Módulo de finura A. Grueso (mg)} = 6.89 \\
 \text{N° Bolsas} = \text{Peso cemento (C)} / 42.5 = 8.05
 \end{array}$$

De la tabla N° 15, se tiene:

$$\begin{array}{r}
 \text{N° Bolsas} \\
 1.00 \left\{ \begin{array}{l} 7.00 \\ 8.05 \\ 8.00 \end{array} \right\} 1.05
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 \text{mc} \\
 0.07 \left\{ \begin{array}{l} 4.54 \\ \text{mc} \\ 4.61 \end{array} \right\} \text{mc-4.54}
 \end{array}$$

$$\frac{1.00}{0.07} = \frac{1.05}{\text{mc-4.54}}$$

$$\text{mc-4.54} = 0.074$$

$$\text{mc} = 4.61$$

$$\% \text{ Volumen absoluto del agregado fino.} = r_f = \frac{m_g \cdot w_c}{m_g - m_f} * 100$$

Del 100% de los agregados  $r_f = 60.86 \%$

$$r_f = 60.86 \%$$

$$\Rightarrow \text{Volumen absoluto del A. Fino} = 0.395 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow \text{Volumen abs. del A. Grueso} = 0.254 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow \text{Peso seco absoluto del A. Fino} = 967.61 \text{ KG}$$

$$\Rightarrow \text{Peso seco abs. del A. Grueso} = 647.67 \text{ KG}$$

### 8.- DETERMINAR EL AGUA EFECTIVA

$$A_{\text{efectiva}} = \text{Agua mezcla} - \frac{(W - \text{abs}) * P_{\text{saf}}}{100} - \frac{(W - \text{abs}) * P_{\text{sag}}}{100}$$

Afectiva : Agua efectiva.

W: contenido de humedad del agregado fino ó agregado grueso.

abs: absorción del agregado fino ó agregado grueso.

P<sub>saf</sub> : Proporción en peso seco del agregado fino.

P<sub>sag</sub> : Proporción en peso seco del agregado grueso.

$$A_{\text{efectiva}} = 26.01 - (4.26 - 2.04) * 916.06 / 100 - (2.4 - 1.09) * 752.04 / 100$$

$$A_{\text{efectiva}} = 23.10 \text{ lt} \quad (\text{en la proporción})$$

$$A_{\text{efectiva}} = 186.03 \text{ lt} \quad (\text{mezcla})$$

### 9.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES

#### 9.1- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO

$$P_p = \frac{342.31}{342.31} : \frac{P_{\text{af}}}{342.31} : \frac{P_{\text{ag}}}{342.31}$$

**Peso húmedo del agregado:**

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 1008.83 \text{ KG} \quad : \text{Peso húmedo del A. Fino}$$

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 663.21 \text{ KG} \quad : \text{Peso húmedo del A. Grueso}$$

**Proporciones en peso:**

$$P_p = \frac{342.31}{342.31} : \frac{1008.83}{342.31} : \frac{663.21}{342.31}$$

$$P_p = 1.00 : 2.95 : 1.94 \quad \left/ \begin{array}{l} 26.82 \text{ lt} \\ 23.10 \text{ lt} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{mezcla} \\ \text{efectiva} \end{array}$$

#### 9.2.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN

$$P_v = \frac{P_p * 42.5}{P_{\text{ush}}}$$

P<sub>v</sub>: Proporción en volumen.

P<sub>p</sub>: Proporción en peso.

P<sub>ush</sub>: Peso unitario suelto húmedo.

P<sub>uss</sub>: Peso unitario seco suelto.

$$P_{\text{ush}} = (P_{\text{uss}}) \left(1 + \frac{w}{100}\right)$$

Push = 49.01 kg/pie3 Agregado Fino.

Push = 39.12 kg/pie3 Agregado Grueso.

$$Pv = \frac{42.5 \text{ kg}}{1 \text{ pie}^3} : \frac{Pp \cdot 42.5}{\text{Push}} : \frac{Pp \cdot 42.5}{\text{Push}}$$

$$Pv = \frac{1.00}{1.00} : \frac{125.25}{49.01} : \frac{82.34}{39.12}$$

$$Pv = 1.00 : 2.56 : 2.11 \quad \left/ \begin{array}{l} 26.82 \text{ It} \\ 23.10 \text{ It} \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{mezcla} \\ \text{efectiva} \end{array}$$

#### 10.- DETERMINAR EL % DE VACIOS

% de agregados = 0.649 m3

Volumen abs. agregado fino:  $V_{abs AF} = 60.9 \%$

Volumen abs. agregado grueso:  $V_{abs AG} = 39.1 \%$

Pusc A. FINO= 1861.00 kg/m3  
Pusc A. GRUESO= 1535.00 kg/m3  
Pem A. FINO= 2450.00 kg/m3  
Pem A. GRUESO= 2550.00 kg/m3

Peso unitario seco compactado A. Fino  
Peso unitario seco compactado A. Grueso  
Peso específico de masa A. Fino  
Peso específico de masa A. Grueso

$$Pem(\text{mezcla}) = \frac{Pem A.FINO \cdot V_{abs AF} + Pem A.GRUESO \cdot V_{abs AG}}{100}$$

**Pem(mezcla) = 2489.14 kg/m3 = Peso específico de masa de la mezcla**

$$Pusc(\text{mezcla}) = \frac{Pusc A.FINO \cdot V_{abs AF} + Pusc A.GRUESO \cdot V_{abs AG}}{100}$$

**Pusc(mezcla) = 1733.41 kg/m3 = Peso unitario seco compactado de mezcla**

$$\% \text{vacios} = \frac{Pem(\text{mezcla}) - Pusc(\text{mezcla})}{Pem(\text{mezcla})} \cdot 100$$

**%vacios = 30.361%**

Nota:

- El método de diseño de mezcla combinación de agregados, es el que presenta menor % de vacios.
- El módulo de finura es un indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas del agregado.
- El módulo de finura está en relación inversa al área superficial y a la demanda del agua.

### 11.- CANTIDAD DE MATERIALES POR M3

⇒	Peso seco absoluto del A. Fino =	967.61 KG
⇒	Peso seco abs. del A. Grueso =	647.67 KG
⇒	Peso de cemento =	342.31 KG
⇒	Peso agua de mezcla =	216.00 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2173.59 KG

### CORRECCIÓN POR HUMEDAD

⇒	Peso húmedo absoluto del A. Fino =	1008.83 KG
⇒	Peso húmedo abs. del A. Grueso =	663.21 KG
⇒	Peso de cemento =	342.31 KG
⇒	Peso agua Efectiva =	186.03 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2200.39 KG

### 12.- CANTIDAD DE MATERIALES POR ESPECIMEN DE CONCRETO

Volumen de especimen:	0.020 m3
Cantidad de cemento:	6.85 kg
Cantidad húmedo de A. fino:	20.18 kg
Cant. húmedo de A. grueso:	13.26 kg
Cantidad de Agua efectiva:	3.72 lt

### 13.- DOSIFICACIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO FIBROMAC POR M3

0.30 % del peso del cemento:	1.03 KG
0.70 % del peso del cemento:	2.40 KG
1.00% del peso del cemento:	3.42 KG

### 14.- DOSIFICACIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO FIBROMAC POR ESPECIMEN DE CONCRETO

Volumen de especimen:	0.020 m3
0.30 % del peso del cemento:	0.021 kg
0.70 % del peso del cemento:	0.048 kg
1.00% del peso del cemento:	0.068 kg

### DOSIFICACIONES DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS F'c = 210 Kg/cm2

A) Concreto F'c = 210 Kg/cm2; Cemento Pacasmayo Tipo I

#### Proporciones en peso

1.00 : 2.95 : 1.94 / 26.82 lt mezcla  
23.10 lt efectiva

#### Proporciones en volumen

1.00 : 2.56 : 2.11 / 26.82 lt mezcla  
23.10 lt efectiva



B) Concreto F'c = 210 Kg/cm<sup>2</sup>; Cemento Pacasmayo Tipo I + Fibras de polipropileno Fibromac

**Proporciones en peso**

1.00	:	2.95	:	1.94	/	26.82 It	mezcla
						23.10 It	efectiva

Dosificación de fibras de polipropileno 0.30 %

**Proporciones en volumen**

1.00	:	2.56	:	2.11	/	26.82 It	mezcla
						23.10 It	efectiva

Por investigaciones anteriores se empleo 0.30% del peso del cemento

C) Concreto F'c = 210 Kg/cm<sup>2</sup>; Cemento Pacasmayo Tipo I + Fibras de polipropileno Fibromac

**Proporciones en peso**

1.00	:	2.95	:	1.94	/	26.82 It	mezcla
						23.10 It	efectiva

Dosificación de fibras de polipropileno : 0.70 %

**Proporciones en volumen**

1.00	:	2.56	:	2.11	/	26.82 It	mezcla
						23.10 It	efectiva

Por investigaciones anteriores se empleo 0.70% del peso del cemento

D) Concreto F'c = 210 Kg/cm<sup>2</sup>; Cemento Pacasmayo Tipo I + Fibras de polipropileno Fibromac

**Proporciones en peso**

1.00	:	2.95	:	1.94	/	26.82 It	mezcla
						23.10 It	efectiva

Dosificación de fibras de polipropileno : 1.00 %

**Proporciones en volumen**

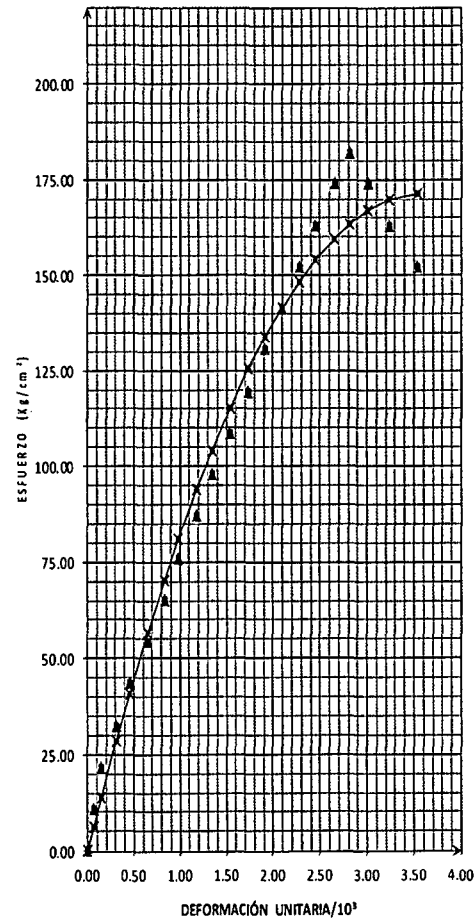
1.00	:	2.56	:	2.11	/	26.82 It	mezcla
						23.10 It	efectiva

Por investigaciones anteriores se empleo 1.00% del peso del cemento

## Diagramas esfuerzo vs deformación unitaria de los especímenes de concreto.

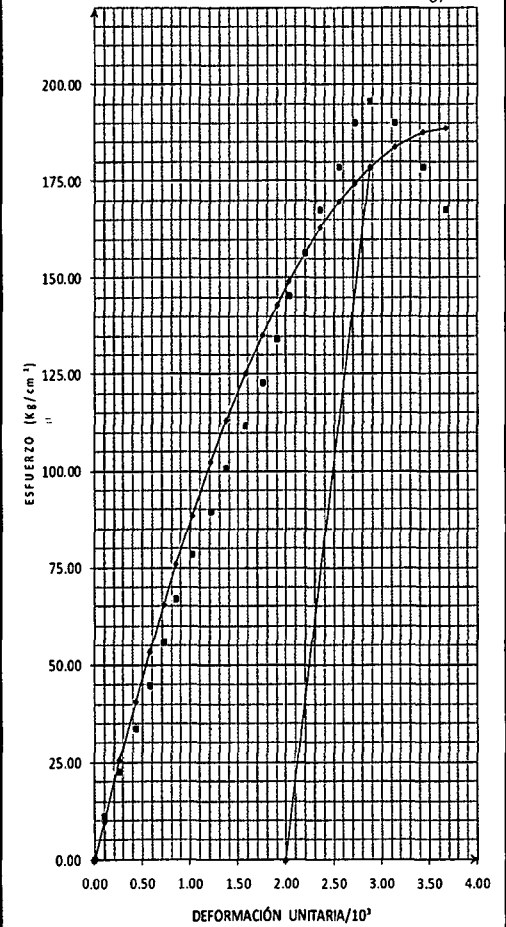
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 1				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:	7 días			
Fecha de elaboración:	08/11/2014			
Fecha de rotura:	15/11/2014			
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	183.85			
Altura (mm):	305.5			
Carga (kg)	Deformación n (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	10.88	6.18
4000	0.045	0.15	21.76	13.76
6000	0.095	0.31	32.63	28.36
8000	0.140	0.46	43.51	40.91
10000	0.200	0.65	54.39	56.73
12000	0.255	0.83	65.27	70.34
14000	0.300	0.98	76.15	80.83
16000	0.360	1.18	87.03	93.93
18000	0.410	1.34	97.90	104.07
20000	0.470	1.54	108.78	115.29
22000	0.530	1.73	119.66	125.49
24000	0.585	1.91	130.54	133.94
26000	0.640	2.09	141.42	141.53
28000	0.695	2.27	152.29	148.26
30000	0.750	2.45	163.17	154.13
32000	0.810	2.65	174.05	159.56
33500	0.860	2.82	182.21	163.30
32000	0.920	3.01	174.05	166.85
30000	0.990	3.24	163.17	169.70
28000	1.080	3.54	152.29	171.31
Ecuación	Esf. = -13.231x <sup>2</sup> +95.108x+0.624			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9804			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	182.21			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	200351.31			
Ecuación Corregida	Esf. = -13.231x <sup>2</sup> +95.28177236x+0.68			

**ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 1**  $y = -13.261x^2 + 95.181x + 0.5681$   
**Esfuerzo Vs Deformación**  $R^2 = 0.9792$   
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**  $E = \tan \theta$   
 $E = 200351.31 \text{ kg/cm}^2$



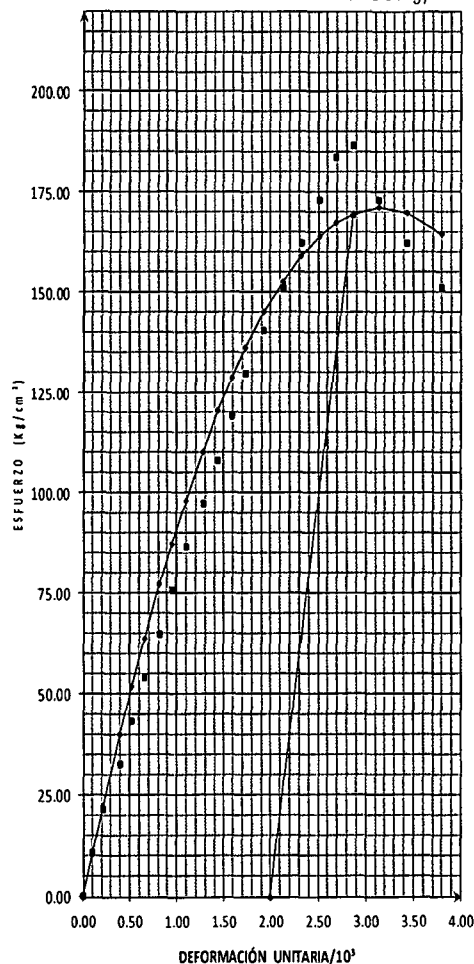
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 2				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:	7 días			
Fecha de elaboración:	08/11/2014			
Fecha de rotura:	15/11/2014			
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	179.08			
Altura (mm):	305.5			
Carga (kg)	Deformación n (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.17	9.77
4000	0.080	0.26	22.34	25.48
6000	0.130	0.43	33.50	40.47
8000	0.175	0.57	44.67	53.34
10000	0.220	0.72	55.84	65.62
12000	0.260	0.85	67.01	76.05
14000	0.310	1.01	78.18	88.44
16000	0.370	1.21	89.35	102.36
18000	0.420	1.37	100.51	113.16
20000	0.480	1.57	111.68	125.17
22000	0.535	1.75	122.85	135.26
24000	0.580	1.90	134.02	142.87
26000	0.620	2.03	145.19	149.15
28000	0.670	2.19	156.36	156.34
30000	0.720	2.36	167.52	162.81
32000	0.780	2.55	178.69	169.62
34000	0.830	2.72	189.86	174.50
35000	0.880	2.88	195.44	178.67
34000	0.960	3.14	189.86	183.82
32000	1.050	3.44	178.69	187.42
30000	1.120	3.67	167.52	188.60
Ecuación	Esf. = -13.471x <sup>2</sup> +102.74x-7.2193			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9779			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	195.44			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	202908.84			
Ecuación Corregida	Esf. = -13.471x <sup>2</sup> +100.83x-7.21			

**ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 2**  $y = -13.471x^2 + 102.74x - 7.2193$   
**Esfuerzo Vs Deformación**  $R^2 = 0.9779$   
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**  $E = \tan \theta$   
 $E = 202908.84 \text{ kg/cm}^2$



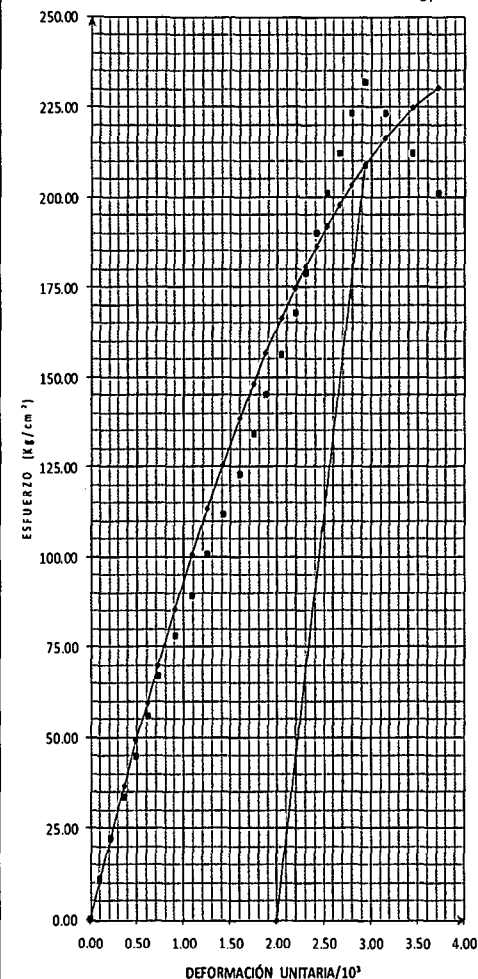
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 3				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I	ASTM	C-150	
Edad:			7 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			15/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	185.06			
Altura (mm):	305.5			
Carga (kg)	Deformación n (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	10.81	10.46
4000	0.065	0.21	21.61	22.24
6000	0.120	0.39	32.42	39.85
8000	0.160	0.52	43.23	51.96
10000	0.200	0.65	54.04	63.49
12000	0.250	0.82	64.84	77.07
14000	0.290	0.95	75.65	87.28
16000	0.335	1.10	86.46	98.06
18000	0.390	1.28	97.27	110.23
20000	0.440	1.44	108.07	120.33
22000	0.485	1.59	118.88	128.64
24000	0.530	1.73	129.69	136.21
26000	0.590	1.93	140.50	145.15
28000	0.650	2.13	151.30	152.76
30000	0.710	2.32	162.11	159.06
32000	0.770	2.52	172.92	164.04
34000	0.820	2.68	183.73	167.19
34500	0.875	2.86	186.43	169.59
32000	0.960	3.14	172.92	171.12
30000	1.050	3.44	162.11	169.85
28000	1.160	3.80	151.30	164.28
Ecuación	Esf. = -17.083x <sup>2</sup> +110.56x-7.655			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.98			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	186.43			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	196245.54			
Ecuación Corregida	Esf. = -17.083x <sup>2</sup> +108.17x-7.7			

**ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 3**  $y = -17.083x^2 + 110.56x - 7.655$   
**Esfuerzo Vs Deformación**  $R^2 = 0.98$   
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**  $E = \tan \theta$   
 $E = 196245.54 \text{ kg/cm}^2$



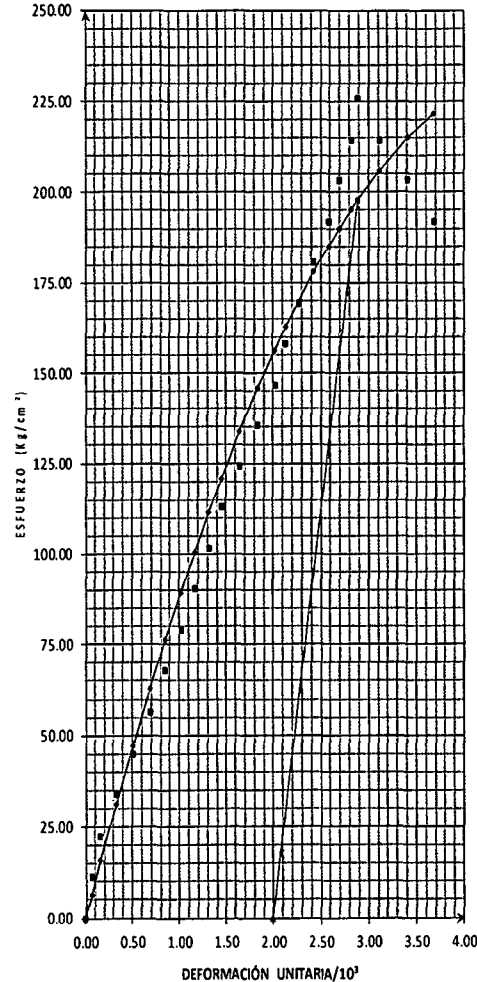
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 4				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I	ASTM	C-150	
Edad:			14 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			22/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	179.08			
Altura (mm):	304.5			
Carga (kg)	Deformación n (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.17	10.27
4000	0.065	0.21	22.34	21.97
6000	0.110	0.36	33.50	36.56
8000	0.150	0.49	44.67	49.10
10000	0.185	0.61	55.84	59.74
12000	0.220	0.72	67.01	70.07
14000	0.275	0.90	78.18	85.67
16000	0.330	1.08	89.35	100.52
18000	0.380	1.25	100.51	113.35
20000	0.430	1.41	111.68	125.56
22000	0.485	1.59	122.85	138.25
24000	0.530	1.74	134.02	148.07
26000	0.570	1.87	145.19	156.37
28000	0.620	2.04	156.36	166.18
30000	0.665	2.18	167.52	174.47
32000	0.700	2.30	178.69	180.56
34000	0.735	2.41	189.86	186.34
36000	0.770	2.53	201.03	191.82
38000	0.810	2.66	212.20	197.70
40000	0.850	2.79	223.37	203.17
41500	0.895	2.94	231.74	208.85
40000	0.960	3.15	223.37	216.14
38000	1.050	3.45	212.20	224.49
36000	1.130	3.71	201.03	230.19
Ecuación	Esf. = -11.694x <sup>2</sup> +106.58x-5.2296			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9754			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	231.74			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	222356.30			
Ecuación Corregida	Esf. = -11.694x <sup>2</sup> +105.43x-5.23			

**ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 4**  $y = -11.694x^2 + 106.58x - 5.2296$   
**Esfuerzo Vs Deformación**  $R^2 = 0.9754$   
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**  $E = \tan \theta$   
 $E = 222356.30 \text{ kg/cm}^2$



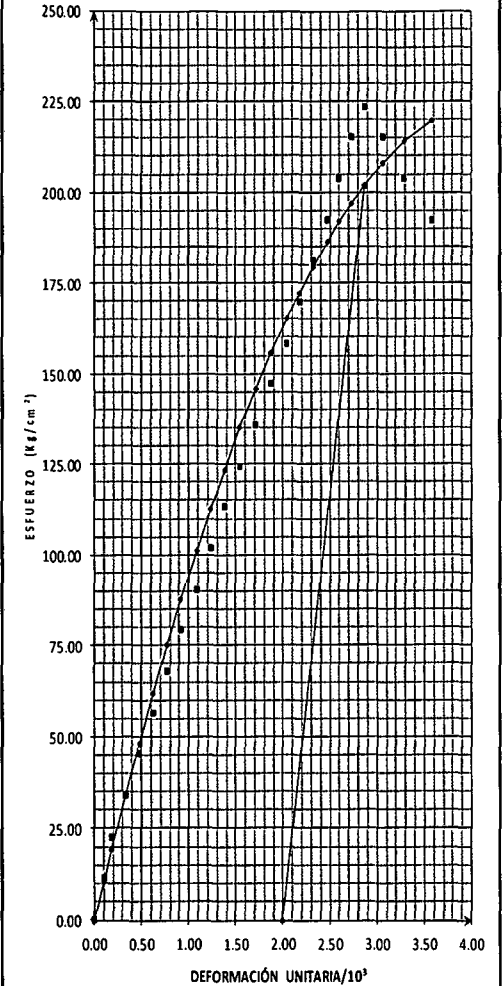
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 5				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I	ASTM	C-150	
Edad:			14 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			22/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	177.30			
Altura (mm):	304.5			
Carga (kg)	Deformación n (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.28	6.41
4000	0.050	0.16	22.56	15.86
6000	0.100	0.33	33.84	31.17
8000	0.155	0.51	45.12	47.36
10000	0.210	0.69	56.40	62.87
12000	0.260	0.85	67.68	76.39
14000	0.310	1.02	78.96	89.35
16000	0.355	1.17	90.24	100.54
18000	0.400	1.31	101.52	111.28
20000	0.440	1.44	112.80	120.45
22000	0.500	1.64	124.08	133.52
24000	0.560	1.84	135.36	145.80
26000	0.615	2.02	146.64	156.34
28000	0.650	2.13	157.92	162.71
30000	0.690	2.27	169.20	169.64
32000	0.740	2.43	180.48	177.80
34000	0.785	2.58	191.76	184.68
36000	0.820	2.69	203.04	189.71
38000	0.860	2.82	214.32	195.13
40000	0.880	2.89	225.60	197.70
38000	0.950	3.12	214.32	206.01
36000	1.040	3.42	203.04	215.09
34000	1.120	3.68	191.76	221.64
Ecuación	Esf. = -10.342x <sup>2</sup> +98.837x-2.5708			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9724			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	225.60			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	222141.09			
Ecuación Corregida	Esf. = -10.342x <sup>2</sup> +98.30x-2.57			

**ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 5**  $y = -10.342x^2 + 98.837x - 2.5706$   
**Esfuerzo Vs Deformación**  $R^2 = 0.9724$   
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**  $E = \tan \theta$   
 $E = 222141.09 \text{ kg/cm}^2$



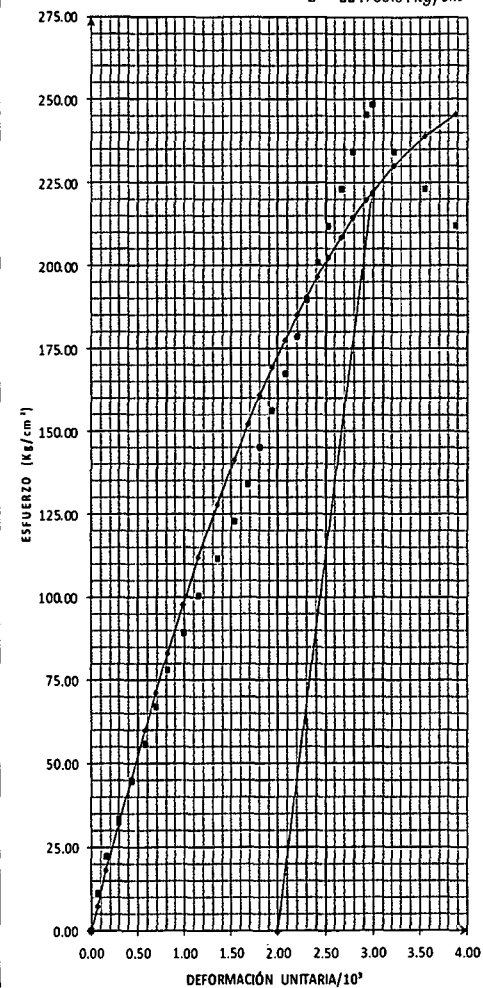
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 6				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I	ASTM	C-150	
Edad:			14 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			22/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	176.72			
Altura (mm):	304			
Carga (kg)	Deformación n (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.32	10.42
4000	0.055	0.18	22.64	18.92
6000	0.100	0.33	33.95	33.78
8000	0.145	0.48	45.27	48.08
10000	0.190	0.63	56.59	61.83
12000	0.235	0.77	67.91	75.02
14000	0.280	0.92	79.22	87.65
16000	0.330	1.09	90.54	101.03
18000	0.375	1.23	101.86	112.48
20000	0.420	1.38	113.18	123.37
22000	0.470	1.55	124.49	134.83
24000	0.520	1.71	135.81	145.59
26000	0.570	1.88	147.13	155.67
28000	0.620	2.04	158.45	165.05
30000	0.660	2.17	169.76	172.07
32000	0.705	2.32	181.08	179.43
34000	0.750	2.47	192.40	186.24
36000	0.790	2.60	203.72	191.82
38000	0.830	2.73	215.04	196.96
39500	0.870	2.86	223.52	201.66
38000	0.930	3.06	215.04	207.89
36000	1.000	3.29	203.72	213.90
34000	1.090	3.59	192.40	219.65
Ecuación	Esf. = -12.723x <sup>2</sup> +107.82x-3.9748			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9788			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	223.52			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	233992.12			
Ecuación Corregida	Esf. = -12.723x <sup>2</sup> +106.88x-3.97			

**ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 6**  $y = -12.723x^2 + 107.82x - 3.9748$   
**Esfuerzo Vs Deformación**  $R^2 = 0.9788$   
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**  $E = \tan \theta$   
 $E = 233992.12 \text{ kg/cm}^2$



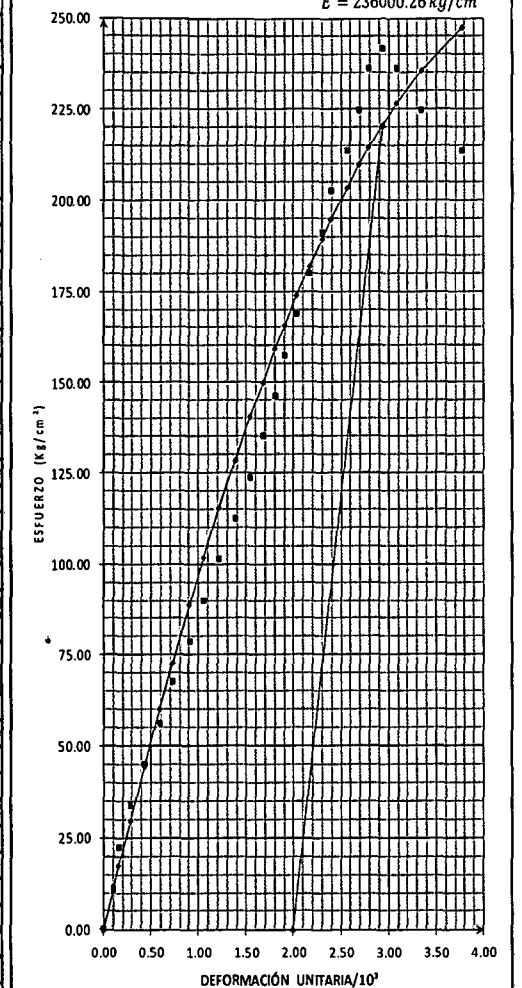
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 7				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			21 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			29/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):			210	
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):			179.08	
Altura (mm):			304.5	
Carga (kg)	Deformación n (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.17	7.27
4000	0.050	0.16	22.34	17.98
6000	0.090	0.30	33.50	31.88
8000	0.130	0.43	44.67	45.35
10000	0.175	0.57	55.84	60.00
12000	0.210	0.69	67.01	71.01
14000	0.250	0.82	78.18	83.19
16000	0.300	0.99	89.35	97.82
18000	0.350	1.15	100.51	111.77
20000	0.410	1.35	111.68	127.63
22000	0.465	1.53	122.85	141.32
24000	0.510	1.67	134.02	151.91
26000	0.550	1.81	145.19	160.87
28000	0.590	1.94	156.36	169.41
30000	0.630	2.07	167.52	177.51
32000	0.670	2.20	178.69	185.18
34000	0.700	2.30	189.86	190.65
36000	0.735	2.41	201.03	196.73
38000	0.770	2.53	212.20	202.49
40000	0.810	2.66	223.37	208.66
42000	0.850	2.79	234.53	214.40
44000	0.890	2.92	245.70	219.71
44500	0.910	2.99	248.49	222.20
42000	0.980	3.22	234.53	230.09
40000	1.080	3.55	223.37	239.07
38000	1.180	3.88	212.20	245.37
Ecuación	Esf. = -12.445x <sup>2</sup> + 112.42x - 3.9415			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9695			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	248.49			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	224785.04			
Ecuación Corregida	Esf. = -12.445x <sup>2</sup> + 111.54x - 3.94			

**ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 7**  $y = -12.445x^2 + 112.42x - 3.9415$   
**Esfuerzo Vs Deformación del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**  
 $R^2 = 0.9695$   
 $E = \tan \theta$   
 $E = 224785.04 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 8				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			21 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			29/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):			210	
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):			177.90	
Altura (mm):			305	
Carga (kg)	Deformación n (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.24	10.59
4000	0.050	0.16	22.49	17.53
6000	0.085	0.28	33.73	29.44
8000	0.130	0.43	44.97	44.30
10000	0.180	0.59	56.21	60.23
12000	0.220	0.72	67.46	72.53
14000	0.275	0.90	78.70	88.80
16000	0.320	1.05	89.94	101.55
18000	0.370	1.21	101.18	115.14
20000	0.420	1.38	112.43	128.10
22000	0.470	1.54	123.67	140.45
24000	0.510	1.67	134.91	149.89
26000	0.550	1.80	146.15	158.93
28000	0.580	1.90	157.40	165.45
30000	0.620	2.03	168.64	173.80
32000	0.660	2.16	179.88	181.76
34000	0.700	2.30	191.12	189.32
36000	0.730	2.39	202.37	194.73
38000	0.780	2.56	213.61	203.26
40000	0.820	2.69	224.85	209.63
42000	0.850	2.79	236.09	214.16
43000	0.895	2.93	241.72	220.52
42000	0.940	3.08	236.09	226.39
40000	1.020	3.34	224.85	235.59
38000	1.150	3.77	213.61	247.17
Ecuación	Esf. = -11.479x <sup>2</sup> + 109.66x - 3.9249			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.974			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	241.72			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	236000.26			
Ecuación Corregida	Esf. = -11.479x <sup>2</sup> + 108.83x - 3.92			

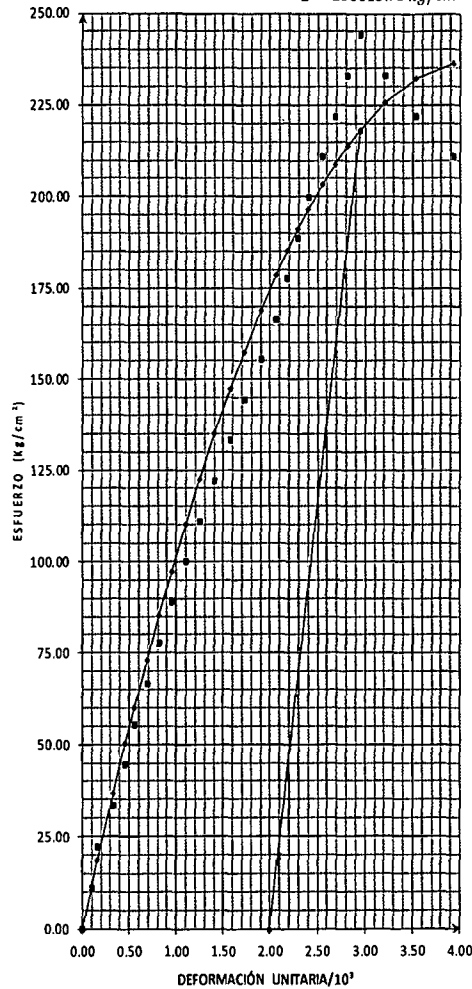
**ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 8**  $y = -11.479x^2 + 109.66x - 3.9249$   
**Esfuerzo Vs Deformación del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**  
 $R^2 = 0.974$   
 $E = \tan \theta$   
 $E = 236000.26 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 9				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			21 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			29/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm²):			210	
Area de la probeta (cm²):			180.27	
Altura (mm):			305.5	
Carga (kg)	Deformación n (mm)	Deformación Unit./10³	Esfuerzo (kg/cm²)	Esfuerzo corregido (kg/cm²)
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.09	11.25
4000	0.050	0.16	22.19	18.60
6000	0.100	0.33	33.28	36.44
8000	0.140	0.46	44.38	50.16
10000	0.170	0.56	55.47	60.13
12000	0.210	0.69	66.57	73.00
14000	0.250	0.82	77.66	85.38
16000	0.290	0.95	88.76	97.27
18000	0.335	1.10	99.85	110.06
20000	0.380	1.24	110.95	122.24
22000	0.430	1.41	122.04	135.05
24000	0.480	1.57	133.14	147.09
26000	0.525	1.72	144.23	157.28
28000	0.580	1.90	155.33	168.89
30000	0.630	2.06	166.42	178.65
32000	0.665	2.18	177.51	185.02
34000	0.700	2.29	188.61	191.02
36000	0.735	2.41	199.70	196.65
38000	0.780	2.55	210.80	203.34
40000	0.820	2.68	221.89	208.77
42000	0.860	2.82	232.99	213.71
44000	0.900	2.95	244.08	218.16
42000	0.980	3.21	232.99	225.60
40000	1.080	3.54	221.89	232.15
38000	1.200	3.93	210.80	235.99
Ecuación	Esf. = -14.23x² + 117.39x - 5.8051			
Coef. de correlación	R² = 0.9794			
Esfuerzo de rotura (kg/cm²)	244.08			
Módulo de elasticidad (kg/cm²)	230613.73			
Ecuación Corregida	Esf. = -14.23x² + 115.97x - 5.8			

ESPECIMEN SIN ADITIVO N° 9  $y = -14.23x^2 + 117.39x - 5.8051$   
 $R^2 = 0.9794$

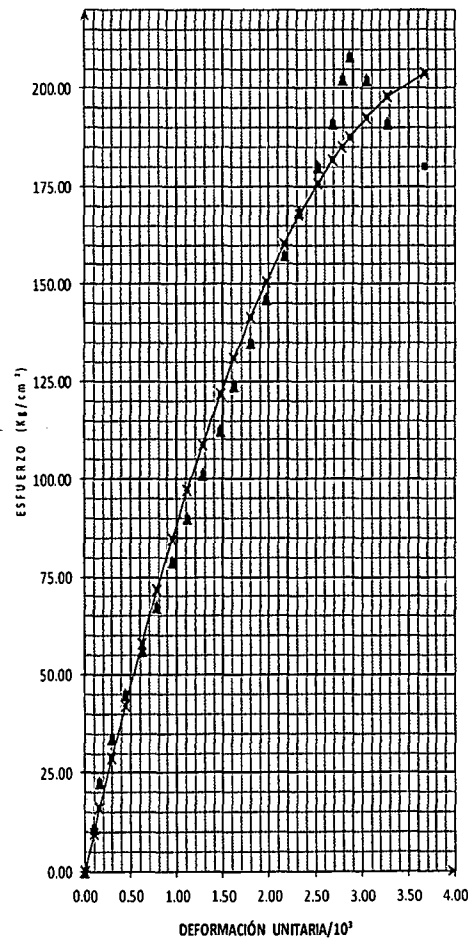
Esfuerzo Vs Deformación del concreto  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$   
 $E = \tan \theta$   
 $E = 230613.73 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 1 (DOSIFICACIÓN 0.30%)				
Cemento:	Pacamayto Tipo I	ASTM	C-150	
Edad:			7 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			15/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	177.90			
Altura (mm):	305			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.24	9.79
4000	0.050	0.16	22.49	16.19
6000	0.090	0.30	33.73	28.66
8000	0.135	0.44	44.97	42.18
10000	0.190	0.62	56.21	57.98
12000	0.240	0.79	67.46	71.65
14000	0.290	0.95	78.70	84.66
16000	0.340	1.11	89.94	97.00
18000	0.390	1.28	101.18	108.68
20000	0.450	1.48	112.43	121.83
22000	0.495	1.62	123.67	131.06
24000	0.550	1.80	134.91	141.61
26000	0.600	1.97	146.15	150.51
28000	0.660	2.16	157.40	160.31
30000	0.710	2.33	168.64	167.76
32000	0.770	2.52	179.88	175.81
34000	0.820	2.69	191.12	181.80
36000	0.850	2.79	202.37	185.07
37000	0.875	2.87	207.99	187.61
36000	0.930	3.05	202.37	192.63
34000	1.000	3.28	191.12	197.85
32000	1.120	3.67	179.88	203.79
Ecuación	Esf. = -12.325x <sup>2</sup> +100.94x-0.7566			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9806			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	207.99			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	215931.70			
Ecuación Corregida	Esf. = -12.325x <sup>2</sup> +100.75x-0.76			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 1**  
**DOSIFICACIÓN = 0.30 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**

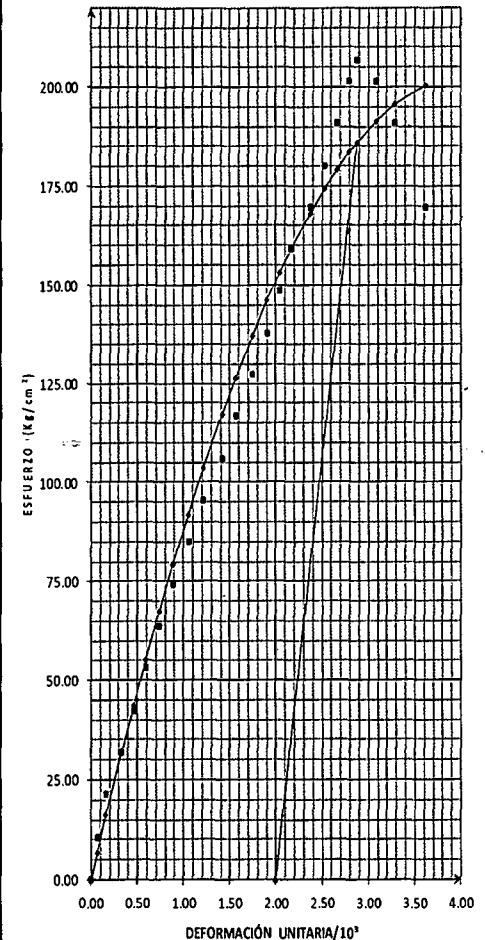
$y = -12.325x^2 + 100.94x - 0.7566$   
 $R^2 = 0.9806$   
 $E = \tan \theta$   
 $E = 215931.70 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 2 (DOSIFICACIÓN 0.30%)				
Cemento:	Pacamayto Tipo I	ASTM	C-150	
Edad:			7 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			15/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	188.69			
Altura (mm):	304.5			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	10.60	6.54
4000	0.050	0.16	21.20	16.16
6000	0.100	0.33	31.80	31.64
8000	0.140	0.46	42.40	43.55
10000	0.180	0.59	53.00	55.02
12000	0.225	0.74	63.60	67.42
14000	0.270	0.89	74.19	79.27
16000	0.320	1.05	84.79	91.80
18000	0.370	1.22	95.39	103.65
20000	0.430	1.41	105.99	117.00
22000	0.475	1.56	116.59	126.37
24000	0.530	1.74	127.19	137.09
26000	0.580	1.90	137.79	146.12
28000	0.620	2.04	148.39	152.87
30000	0.660	2.17	158.99	159.19
32000	0.720	2.36	169.59	167.86
34000	0.770	2.53	180.19	174.34
36000	0.810	2.66	190.79	179.04
38000	0.850	2.79	201.39	183.32
39000	0.875	2.87	206.69	185.77
38000	0.940	3.09	201.39	191.37
36000	1.000	3.28	190.79	195.52
32000	1.100	3.61	169.59	200.30
Ecuación	Esf. = -12.455x <sup>2</sup> +100.94x-2.0247			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9751			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	206.69			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	212660.76			
Ecuación Corregida	Esf. = -12.455x <sup>2</sup> +100.44x-2			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 2**  
**DOSIFICACIÓN = 0.30 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**

$y = -12.455x^2 + 100.94x - 2.0247$   
 $R^2 = 0.9751$   
 $E = \tan \theta$   
 $E = 212660.76 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 3 (DOSIFICACIÓN 0.30%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			7 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			15/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):			210	
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):			186.27	
Altura (mm):			307	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	10.74	6.59
4000	0.060	0.20	21.47	19.43
6000	0.110	0.36	32.21	34.84
8000	0.150	0.49	42.95	46.65
10000	0.190	0.62	53.69	58.00
12000	0.240	0.78	64.42	71.54
14000	0.285	0.93	75.16	83.11
16000	0.330	1.07	85.90	94.10
18000	0.380	1.24	96.64	105.62
20000	0.430	1.40	107.37	116.44
22000	0.480	1.56	118.11	126.53
24000	0.525	1.71	128.85	135.00
26000	0.580	1.89	139.59	144.56
28000	0.645	2.10	150.32	154.74
30000	0.700	2.28	161.06	162.40
32000	0.760	2.48	171.80	169.78
34000	0.810	2.64	182.54	175.13
36000	0.850	2.77	193.27	178.89
38000	0.880	2.87	204.01	181.42
36000	0.960	3.13	193.27	186.88
34000	1.050	3.42	182.54	190.83
32000	1.130	3.68	171.80	192.39
Ecuación	Esf. = -13.535x <sup>2</sup> +103.04x-3.61			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9814			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	204.01			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	209379.81			
Ecuación Corregida	Esf. = -13.535x <sup>2</sup> +102.0872x-3.6			

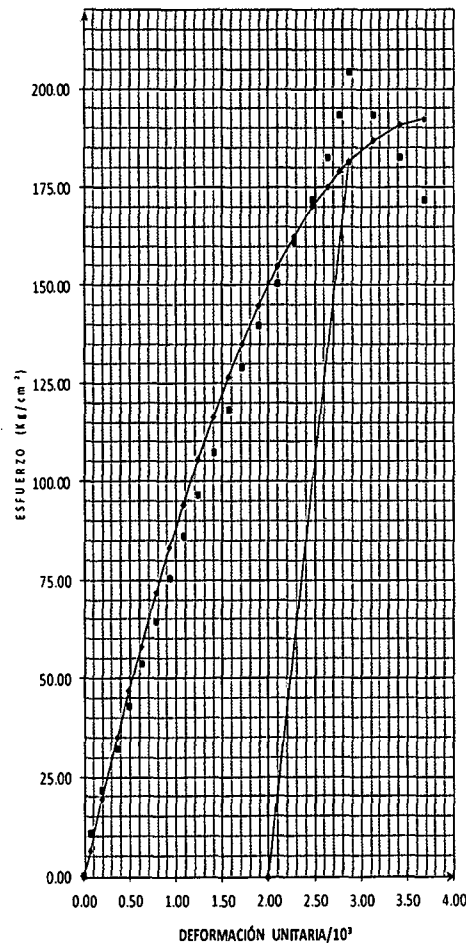
**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 3**  
**DOSIFICACIÓN = 0.30 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**

$$y = -13.535x^2 + 103.04x - 3.61$$

$$R^2 = 0.9814$$

$$E = \tan \theta$$

$$E = 209379.81 \text{ kg/cm}^2$$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 4 (DOSIFICACIÓN 0.30%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			14 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			22/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):			210	
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):			179.08	
Altura (mm):			304.5	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.17	6.36
4000	0.050	0.16	22.34	15.79
6000	0.100	0.33	33.50	31.20
8000	0.150	0.49	44.67	46.22
10000	0.190	0.62	55.84	57.97
12000	0.230	0.76	67.01	69.46
14000	0.280	0.92	78.18	83.48
16000	0.330	1.08	89.35	97.12
18000	0.380	1.25	100.51	110.37
20000	0.430	1.41	111.68	123.24
22000	0.485	1.59	122.85	136.95
24000	0.530	1.74	134.02	147.82
26000	0.570	1.87	145.19	157.22
28000	0.610	2.00	156.36	166.37
30000	0.650	2.13	167.52	175.28
32000	0.680	2.23	178.69	181.80
34000	0.720	2.36	189.86	190.28
36000	0.760	2.50	201.03	198.51
38000	0.790	2.59	212.20	204.52
40000	0.820	2.69	223.37	210.39
42000	0.850	2.79	234.53	216.12
44000	0.855	2.84	245.70	218.94
45000	0.900	2.96	251.29	225.37
44000	0.960	3.15	245.70	235.96
42000	1.030	3.38	234.53	247.61
40000	1.130	3.71	223.37	262.95
Ecuación	Esf. = -7.2699x <sup>2</sup> +98.205x-2.3138			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9719			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	251.29			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	235826.63			
Ecuación Corregida	Esf. = -7.2699x <sup>2</sup> +97.2535x-2.3			

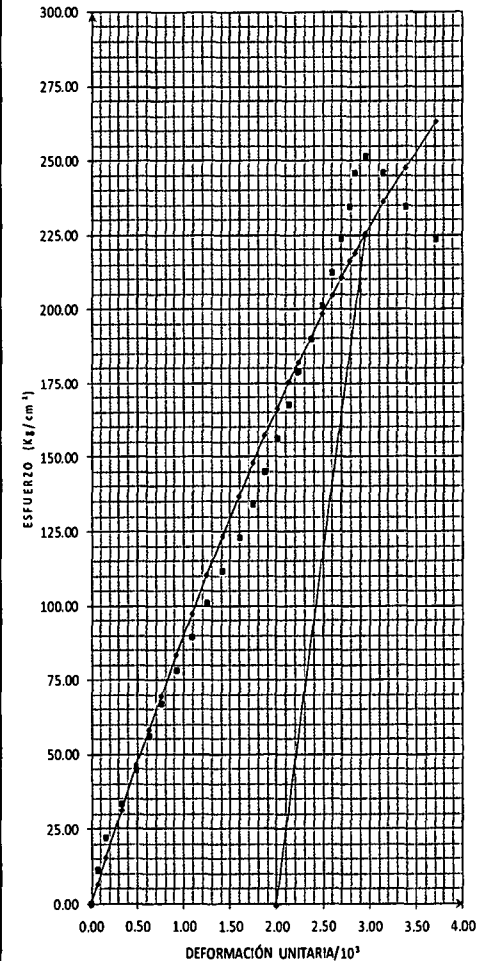
**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 4**  
**DOSIFICACIÓN = 0.30 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**

$$y = -7.2699x^2 + 98.205x - 2.3138$$

$$R^2 = 0.9719$$

$$E = \tan \theta$$

$$E = 235826.63 \text{ kg/cm}^2$$

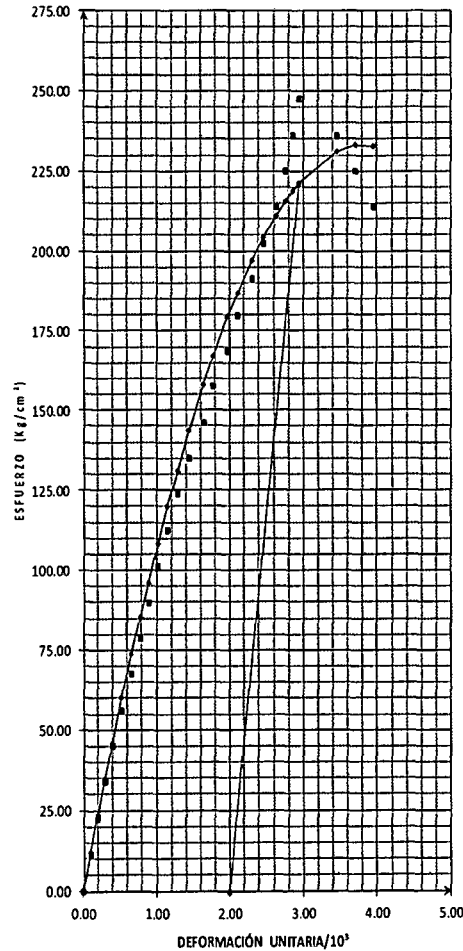




ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 5 (DOSIFICACIÓN 0.30%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I	ASTM	C-150	
Edad:		14 días		
Fecha de elaboración:		08/11/2014		
Fecha de rotura:		22/11/2014		
Resistencia característica (kg/cm²):	210			
Area de la probeta (cm²):	177.90			
Altura (mm):	304			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10³	Esfuerzo (kg/cm²)	Esfuerzo corregido (kg/cm²)
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.24	11.93
4000	0.060	0.20	22.49	23.56
6000	0.090	0.30	33.73	34.86
8000	0.120	0.39	44.97	45.86
10000	0.160	0.53	56.21	60.03
12000	0.200	0.66	67.46	73.64
14000	0.235	0.77	78.70	85.09
16000	0.270	0.89	89.94	96.12
18000	0.310	1.02	101.18	108.20
20000	0.350	1.15	112.43	119.72
22000	0.390	1.28	123.67	130.68
24000	0.440	1.45	134.91	143.61
26000	0.500	1.64	146.15	157.96
28000	0.540	1.78	157.40	166.83
30000	0.600	1.97	168.64	179.10
32000	0.640	2.11	179.88	186.58
34000	0.700	2.30	191.12	196.75
36000	0.750	2.47	202.37	204.27
38000	0.800	2.63	213.61	210.92
40000	0.840	2.76	224.85	215.61
42000	0.870	2.86	236.09	218.76
44000	0.895	2.94	247.34	221.15
42000	1.050	3.45	236.09	231.09
40000	1.130	3.72	224.85	232.95
38000	1.200	3.95	213.61	232.74
Ecuación	Esf. = -16.103x² + 123.76x - 4.7209			
Coef. de correlación	R² = 0.9866			
Esfuerzo de rotura (kg/cm²)	247.34			
Módulo de elasticidad (kg/cm²)	234249.31			
Ecuación Corregida	Esf. = -16.103x² + 122.5253x - 4.7			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 5**  
**DOSIFICACIÓN = 0.30 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm²**

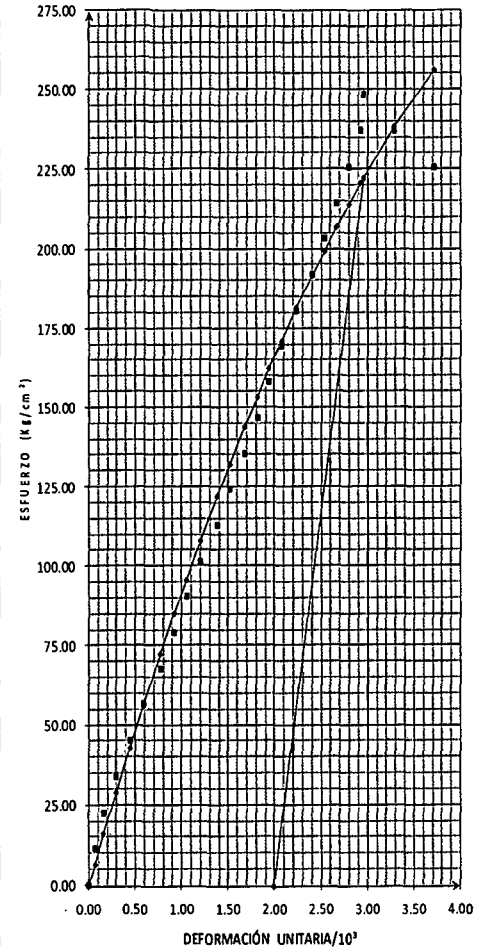
$y = -16.103x^2 + 123.76x - 4.7209$   
 $R^2 = 0.9866$   
 $E = \tan \theta$   
 $E = 234249.31 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 6 (DOSIFICACIÓN 0.30%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I	ASTM	C-150	
Edad:		14 días		
Fecha de elaboración:		08/11/2014		
Fecha de rotura:		22/11/2014		
Resistencia característica (kg/cm²):	210			
Area de la probeta (cm²):	177.30			
Altura (mm):	304			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10³	Esfuerzo (kg/cm²)	Esfuerzo corregido (kg/cm²)
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.28	6.51
4000	0.050	0.16	22.56	16.15
6000	0.090	0.30	33.84	28.75
8000	0.135	0.44	45.12	42.58
10000	0.180	0.59	56.40	56.05
12000	0.235	0.77	67.68	72.03
14000	0.280	0.92	78.96	84.69
16000	0.320	1.05	90.24	95.65
18000	0.365	1.20	101.52	107.63
20000	0.420	1.38	112.80	121.78
22000	0.460	1.51	124.08	131.73
24000	0.510	1.68	135.36	143.77
26000	0.550	1.81	146.64	153.08
28000	0.590	1.94	157.92	162.10
30000	0.630	2.07	169.20	170.83
32000	0.680	2.24	180.48	181.35
34000	0.730	2.40	191.76	191.42
36000	0.770	2.53	203.04	199.15
38000	0.810	2.66	214.32	206.60
40000	0.850	2.80	225.60	213.76
42000	0.890	2.93	236.88	220.64
44000	0.900	2.96	248.16	222.31
42000	1.000	3.29	236.88	238.07
40000	1.130	3.72	225.60	255.87
Ecuación	Esf. = -8.2668x² + 99.622x - 0.341			
Coef. de correlación	R² = 0.983			
Esfuerzo de rotura (kg/cm²)	248.16			
Módulo de elasticidad (kg/cm²)	231445.82			
Ecuación Corregida	Esf. = -8.2668x² + 99.5653x - 0.3			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 6**  
**DOSIFICACIÓN = 0.30 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm²**

$y = -8.2668x^2 + 99.622x - 0.341$   
 $R^2 = 0.983$   
 $E = \tan \theta$   
 $E = 231445.82 \text{ kg/cm}^2$



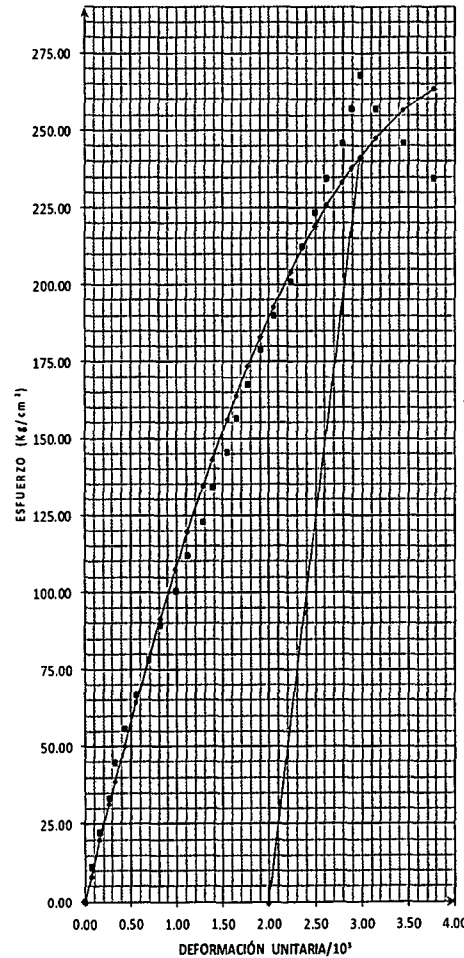
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 7 (DOSIFICACIÓN 0.30%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:	21 días			
Fecha de elaboración:	08/11/2014			
Fecha de rotura:	29/11/2014			
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	179.08			
Altura (mm):	305			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.17	8.01
4000	0.050	0.16	22.34	19.80
6000	0.080	0.26	33.50	31.31
8000	0.100	0.33	44.67	38.84
10000	0.130	0.43	55.84	49.90
12000	0.170	0.56	67.01	64.22
14000	0.210	0.69	78.18	78.05
16000	0.250	0.82	89.35	91.40
18000	0.300	0.98	100.51	107.40
20000	0.340	1.11	111.68	119.66
22000	0.390	1.28	122.85	134.30
24000	0.420	1.38	134.02	142.71
26000	0.470	1.54	145.19	156.13
28000	0.500	1.64	156.36	163.82
30000	0.540	1.77	167.52	173.65
32000	0.580	1.90	178.69	182.99
34000	0.625	2.05	189.86	192.91
36000	0.680	2.23	201.03	204.21
38000	0.720	2.36	212.20	211.85
40000	0.760	2.49	223.37	219.00
42000	0.800	2.62	234.53	225.67
44000	0.850	2.79	245.70	233.32
46000	0.880	2.89	256.87	237.55
48000	0.910	2.98	268.04	241.50
46000	0.960	3.15	256.87	247.48
44000	1.050	3.44	245.70	256.33
42000	1.150	3.77	234.53	263.28
Ecuación	Esf. = -14.126x <sup>2</sup> +123.19x-0.4409			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9846			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	268.04			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	245525.32			
Ecuación Corregida	Esf. = -14.126x <sup>2</sup> +123.088x-0.4			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 7**  
**DOSIFICACIÓN = 0.30 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**

$$y = -14.126x^2 + 123.19x - 0.4409$$

$$E = 245525.32 \text{ kg/cm}^2$$

$$R^2 = 0.9846$$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 8 (DOSIFICACIÓN 0.30%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:	21 días			
Fecha de elaboración:	08/11/2014			
Fecha de rotura:	29/11/2014			
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	177.30			
Altura (mm):	305.5			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.28	8.09
4000	0.050	0.16	22.56	19.99
6000	0.080	0.26	33.84	31.61
8000	0.120	0.39	45.12	46.68
10000	0.150	0.49	56.40	57.66
12000	0.180	0.59	67.68	68.36
14000	0.210	0.69	78.96	78.78
16000	0.240	0.79	90.24	88.93
18000	0.285	0.93	101.52	103.63
20000	0.325	1.06	112.80	116.17
22000	0.380	1.24	124.08	132.62
24000	0.420	1.37	135.36	144.00
26000	0.470	1.54	146.64	157.52
28000	0.510	1.67	157.92	167.79
30000	0.560	1.83	169.20	179.94
32000	0.600	1.96	180.48	189.10
34000	0.640	2.09	191.76	197.76
36000	0.675	2.21	203.04	204.95
38000	0.730	2.39	214.32	215.47
40000	0.770	2.52	225.60	222.54
42000	0.810	2.65	236.88	229.11
44000	0.850	2.78	248.16	235.20
46000	0.890	2.91	259.44	240.79
48000	0.915	3.00	270.72	244.04
46000	0.960	3.14	259.44	249.39
44000	1.060	3.47	248.16	259.07
42000	1.150	3.76	236.88	265.14
Ecuación	Esf. = -14.356x <sup>2</sup> +124.82x-1.413			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9854			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	270.72			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	245241.00			
Ecuación Corregida	Esf. = -14.356x <sup>2</sup> +124.4762x-1			

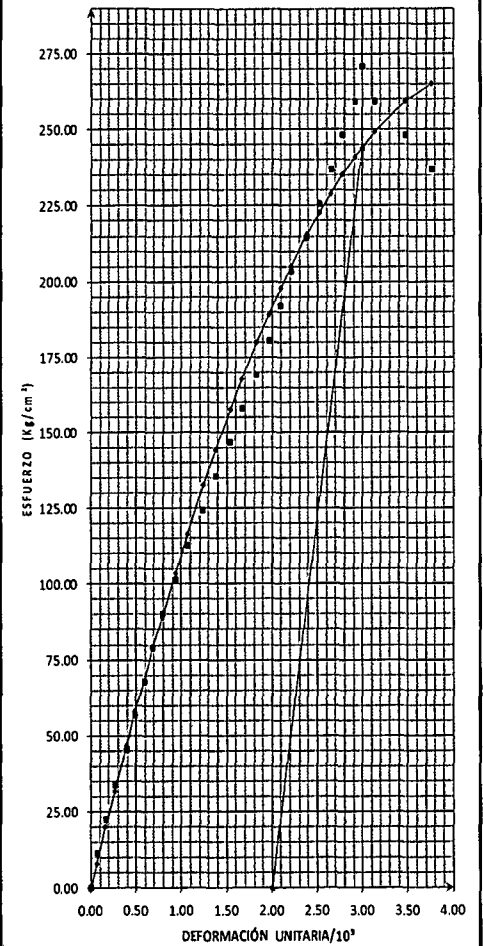
**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 8**  
**DOSIFICACIÓN = 0.30 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**

$$y = -14.356x^2 + 124.82x - 1.413$$

$$E = 245241.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$R^2 = 0.9854$$

$$E = \tan \theta$$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 9 (DOSIFICACIÓN 0.30%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			21 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			29/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):			210	
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):			177.90	
Altura (mm):			305	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.24	7.41
4000	0.045	0.15	22.49	16.53
6000	0.090	0.30	33.73	32.57
8000	0.125	0.41	44.97	44.71
10000	0.170	0.56	56.21	59.89
12000	0.210	0.69	67.46	72.98
14000	0.250	0.82	78.70	85.69
16000	0.290	0.95	89.94	98.01
18000	0.325	1.07	101.18	108.48
20000	0.370	1.21	112.43	121.51
22000	0.420	1.38	123.67	135.42
24000	0.465	1.52	134.91	147.43
26000	0.510	1.67	146.15	158.95
28000	0.560	1.84	157.40	171.19
30000	0.600	1.97	168.64	180.54
32000	0.635	2.08	179.88	188.42
34000	0.680	2.23	191.12	198.11
36000	0.710	2.33	202.37	204.31
38000	0.750	2.46	213.61	212.23
40000	0.785	2.57	224.85	218.85
42000	0.820	2.69	236.09	225.17
44000	0.850	2.79	247.34	230.36
46000	0.880	2.89	258.58	235.34
47500	0.910	2.98	267.01	240.10
46000	0.965	3.16	258.58	248.26
44000	1.050	3.44	247.34	259.46
42000	1.170	3.84	236.09	272.33
Ecuación	Esf. = -11.122x <sup>2</sup> +114.31x-3.3533			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9778			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	267.01			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	244098.18			
Ecuación Corregida	Esf. = -11.122x <sup>2</sup> +113.6553x-3.3			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 9**

**DOSIFICACIÓN = 0.30%**

**Esfuerzo Vs Deformación**

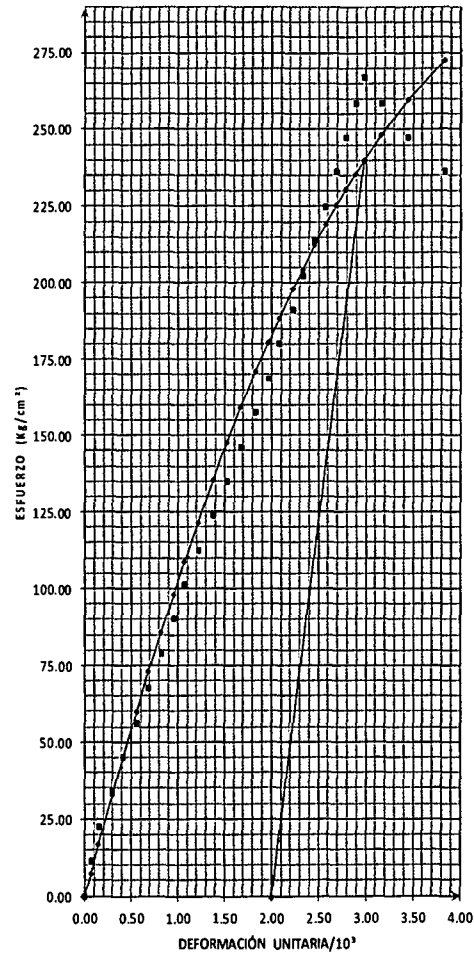
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**

$$y = -11.122x^2 + 114.31x - 3.3533$$

$$R^2 = 0.9778$$

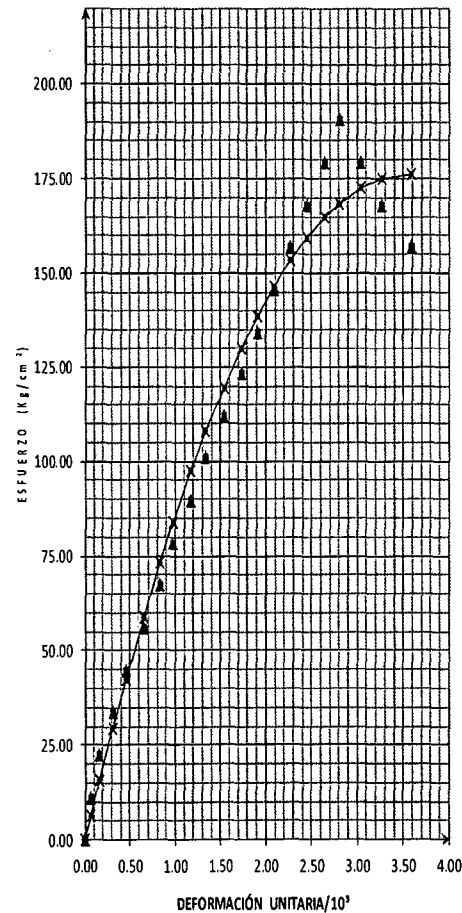
$$E = \tan \theta$$

$$E = 244098.18 \text{ kg/cm}^2$$



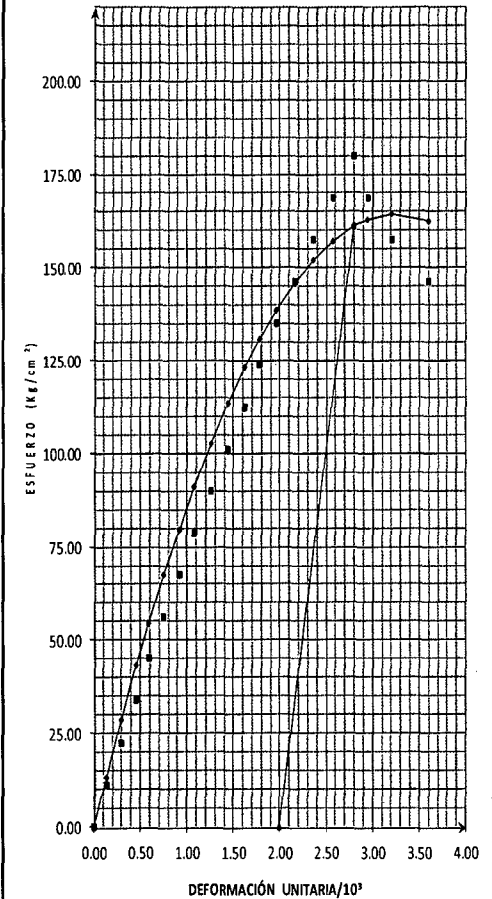
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 1 (DOSIFICACIÓN 0.70%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			7 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			15/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm²):			210	
Area de la probeta (cm²):			178.49	
Altura (mm):			306	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10³	Esfuerzo (kg/cm²)	Esfuerzo corregido (kg/cm²)
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.21	6.43
4000	0.050	0.16	22.41	15.86
6000	0.095	0.31	33.62	29.50
8000	0.140	0.46	44.82	42.52
10000	0.200	0.65	56.03	58.95
12000	0.255	0.83	67.23	73.06
14000	0.300	0.98	78.44	83.94
16000	0.360	1.18	89.64	97.49
18000	0.410	1.34	100.85	107.96
20000	0.470	1.54	112.05	119.54
22000	0.530	1.73	123.26	130.04
24000	0.585	1.91	134.46	138.71
26000	0.640	2.09	145.67	146.48
28000	0.695	2.27	156.87	153.35
30000	0.750	2.45	168.08	159.30
32000	0.810	2.65	179.29	164.77
34000	0.860	2.81	190.49	168.50
32000	0.930	3.04	179.29	172.47
30000	1.000	3.27	168.08	174.97
28000	1.100	3.59	156.87	176.00
Ecuación	Esf. = -14.021x²+99.392x-0.1078			
Coef. de correlación	R² = 0.9781			
Esfuerzo de rotura (kg/cm²)	190.49			
Módulo de elasticidad (kg/cm²)	207912.48			
Ecuación Corregida	Esf. = -14.021x²+99.36x-0.10			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 1**  $y = -14.021x^2 + 99.392x - 0.1078$   
**DOSIFICACIÓN = 0.70 %**  $R^2 = 0.9781$   
**Esfuerzo Vs Deformación**  $E = \tan \theta$   
**del concreto f'c=210 kg/cm²**  $E = 207912.48 \text{ kg/cm}^2$



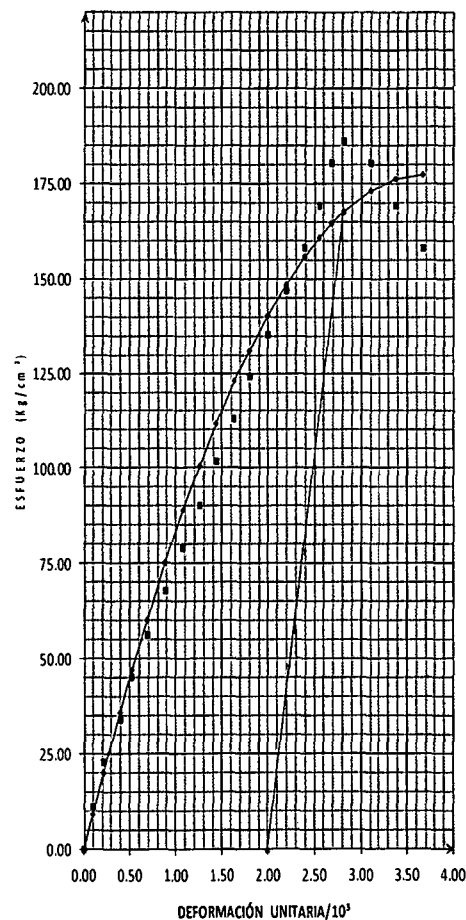
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 2 (DOSIFICACIÓN 0.70%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			7 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			15/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm²):			210	
Area de la probeta (cm²):			177.90	
Altura (mm):			305.5	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10³	Esfuerzo (kg/cm²)	Esfuerzo corregido (kg/cm²)
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.040	0.13	11.24	12.98
4000	0.090	0.29	22.49	28.45
6000	0.140	0.46	33.73	43.09
8000	0.180	0.59	44.97	54.20
10000	0.230	0.75	56.21	67.34
12000	0.280	0.92	67.46	79.65
14000	0.330	1.08	78.70	91.12
16000	0.385	1.26	89.94	102.77
18000	0.440	1.44	101.18	113.42
20000	0.495	1.62	112.43	123.06
22000	0.545	1.78	123.67	130.94
24000	0.600	1.96	134.91	138.66
26000	0.660	2.16	146.15	145.92
28000	0.720	2.36	157.40	151.98
30000	0.785	2.57	168.64	157.19
32000	0.855	2.80	179.88	161.23
30000	0.900	2.95	168.64	162.96
28000	0.980	3.21	157.40	164.38
26000	1.100	3.60	146.15	162.49
Ecuación	Esf. = -15.562x²+103.83x-8.7852			
Coef. de correlación	R² = 0.9776			
Esfuerzo de rotura (kg/cm²)	179.88			
Módulo de elasticidad (kg/cm²)	201867.81			
Ecuación Corregida	Esf. = -15.562x²+101.16x-8.79			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 2**  $y = -15.562x^2 + 103.83x - 8.7852$   
**DOSIFICACIÓN = 0.70 %**  $R^2 = 0.9776$   
**Esfuerzo Vs Deformación**  $E = \tan \theta$   
**del concreto f'c=210 kg/cm²**  $E = 201867.81 \text{ kg/cm}^2$



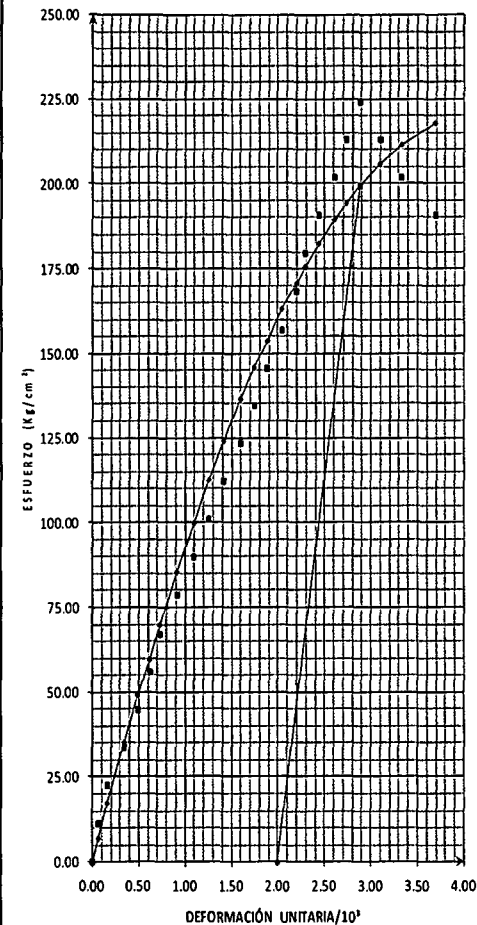
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 3 (DOSIFICACIÓN 0.70%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I	ASTM	C-150	
Edad:			7 días	
Fecha de elaboración:		08/11/2014		
Fecha de rotura:		15/11/2014		
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	177.30			
Altura (mm):	305.5			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.28	9.35
4000	0.065	0.21	22.56	19.93
6000	0.120	0.39	33.84	35.87
8000	0.160	0.52	45.12	46.93
10000	0.210	0.69	56.40	60.11
12000	0.270	0.88	67.68	75.01
14000	0.330	1.08	78.96	88.90
16000	0.385	1.26	90.24	100.74
18000	0.440	1.44	101.52	111.73
20000	0.500	1.64	112.80	122.74
22000	0.550	1.80	124.08	131.15
24000	0.610	2.00	135.36	140.31
26000	0.670	2.19	146.64	148.46
28000	0.730	2.39	157.92	155.60
30000	0.780	2.55	169.20	160.78
32000	0.820	2.68	180.48	164.41
33000	0.860	2.82	186.12	167.59
32000	0.950	3.11	180.48	173.11
30000	1.030	3.37	169.20	176.10
28000	1.120	3.67	157.92	177.32
Ecuación	Esf. = -13.121x <sup>2</sup> +97.367x-3.3102			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9781			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	186.12			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	205620.67			
Ecuación Corregida	Esf. = -13.121x <sup>2</sup> +96.4707x-3.3			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 3**  $y = -13.121x^2 + 97.367x - 3.3102$   
**DOSIFICACIÓN = 0.70 %**  $R^2 = 0.9781$   
**Esfuerzo Vs Deformación**  $E = \tan \theta$   
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**  $E = 196245.54 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 4 (DOSIFICACIÓN 0.70%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I	ASTM	C-150	
Edad:			14 días	
Fecha de elaboración:		08/11/2014		
Fecha de rotura:		22/11/2014		
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	178.49			
Altura (mm):	303			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.21	6.90
4000	0.050	0.17	22.41	17.05
6000	0.105	0.35	33.62	35.01
8000	0.150	0.50	44.82	49.10
10000	0.185	0.61	56.03	59.66
12000	0.220	0.73	67.23	69.89
14000	0.275	0.91	78.44	85.29
16000	0.330	1.09	89.64	99.86
18000	0.380	1.25	100.85	112.38
20000	0.430	1.42	112.05	124.22
22000	0.485	1.60	123.26	136.45
24000	0.530	1.75	134.46	145.84
26000	0.570	1.88	145.67	153.72
28000	0.620	2.05	156.87	162.95
30000	0.665	2.19	168.08	170.67
32000	0.695	2.29	179.29	175.51
34000	0.740	2.44	190.49	182.31
36000	0.790	2.61	201.70	189.21
38000	0.830	2.74	212.90	194.23
40000	0.875	2.89	224.11	199.36
38000	0.940	3.10	212.90	205.79
36000	1.010	3.33	201.70	211.41
34000	1.120	3.70	190.49	217.54
Ecuación	Esf. = -12.595x <sup>2</sup> +106.16x-3.1616			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9754			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	224.11			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	224557.64			
Ecuación Corregida	Esf. = -12.595x <sup>2</sup> +105.41x-3.2			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 4**  $y = -12.595x^2 + 106.16x - 3.1616$   
**DOSIFICACIÓN = 0.70 %**  $R^2 = 0.9754$   
**Esfuerzo Vs Deformación**  $E = \tan \theta$   
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**  $E = 224557.64 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 5 (DOSIFICACIÓN 0.70%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I	ASTM	C-150	
Edad:			14 días	
Fecha de elaboración:		08/11/2014		
Fecha de rotura:		22/11/2014		
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	176.72			
Altura (mm):	305			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.32	6.57
4000	0.050	0.16	22.64	16.24
6000	0.100	0.33	33.95	31.84
8000	0.155	0.51	45.27	48.25
10000	0.210	0.69	56.59	63.89
12000	0.260	0.85	67.91	77.42
14000	0.310	1.02	79.22	90.31
16000	0.355	1.16	90.54	101.36
18000	0.400	1.31	101.86	111.89
20000	0.440	1.44	113.18	120.81
22000	0.500	1.64	124.49	133.42
24000	0.560	1.84	135.81	145.10
26000	0.615	2.02	147.13	154.99
28000	0.650	2.13	158.45	160.87
30000	0.690	2.26	169.76	167.22
32000	0.740	2.43	181.08	174.56
34000	0.785	2.57	192.40	180.63
36000	0.820	2.69	203.72	184.98
38000	0.865	2.84	215.04	190.11
36000	0.920	3.02	203.72	195.68
34000	1.000	3.28	192.40	202.38
32000	1.100	3.61	181.08	208.44
Ecuación	Esf. = -11.992x <sup>2</sup> +101.71x-2.8159			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9727			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	215.04			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	227388.86			
Ecuación Corregida	Esf. = -11.992x <sup>2</sup> +101.04x-2.8			

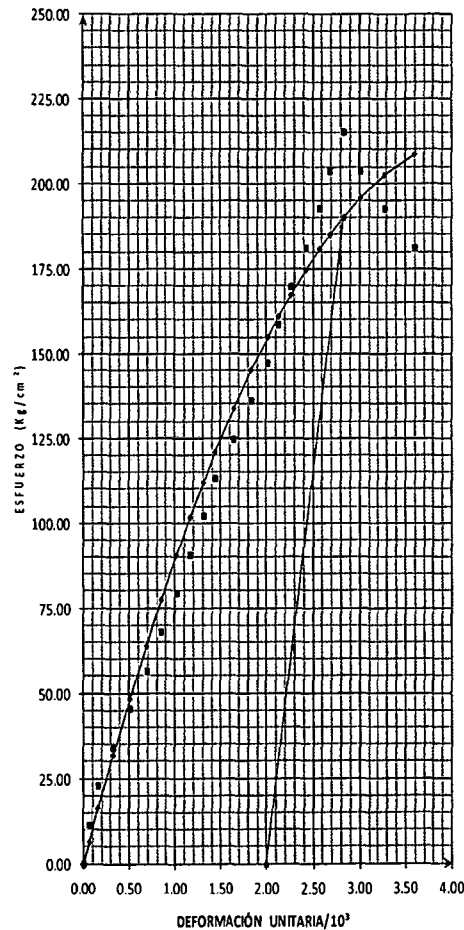
**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 5**  
**DOSIFICACIÓN = 0.70 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**

$$y = -11.992x^2 + 101.71x - 2.8159$$

$$R^2 = 0.9727$$

$$E = \tan \theta$$

$$E = 227388.86 \text{ kg/cm}^2$$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 6 (DOSIFICACIÓN 0.70%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I	ASTM	C-150	
Edad:			14 días	
Fecha de elaboración:		08/11/2014		
Fecha de rotura:		22/11/2014		
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	177.30			
Altura (mm):	303			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.28	10.47
4000	0.060	0.20	22.56	20.68
6000	0.100	0.33	33.84	33.90
8000	0.145	0.48	45.12	48.24
10000	0.190	0.63	56.40	62.00
12000	0.235	0.78	67.68	75.18
14000	0.280	0.92	78.96	87.80
16000	0.330	1.09	90.24	101.14
18000	0.375	1.24	101.52	112.54
20000	0.420	1.39	112.80	123.37
22000	0.470	1.55	124.08	134.73
24000	0.520	1.72	135.36	145.38
26000	0.570	1.88	146.64	155.33
28000	0.620	2.05	157.92	164.56
30000	0.665	2.19	169.20	172.27
32000	0.710	2.34	180.48	179.40
34000	0.760	2.51	191.76	186.66
36000	0.800	2.64	203.04	191.95
38000	0.840	2.77	214.32	196.79
39000	0.880	2.90	219.96	201.18
38000	0.920	3.04	214.32	205.11
36000	1.000	3.30	203.04	211.62
34000	1.120	3.70	191.76	217.98
Ecuación	Esf. = -12.999x <sup>2</sup> +108.13x-4.5867			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9805			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	219.96			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	222468.68			
Ecuación Corregida	Esf. = -12.999x <sup>2</sup> +107.02x-4.6			

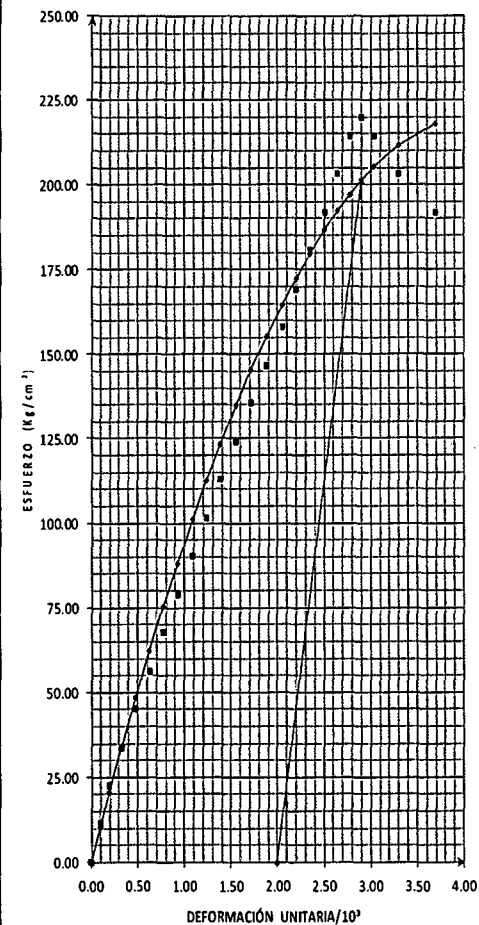
**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 6**  
**DOSIFICACIÓN = 0.70 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**

$$y = -12.999x^2 + 108.13x - 4.5867$$

$$R^2 = 0.9805$$

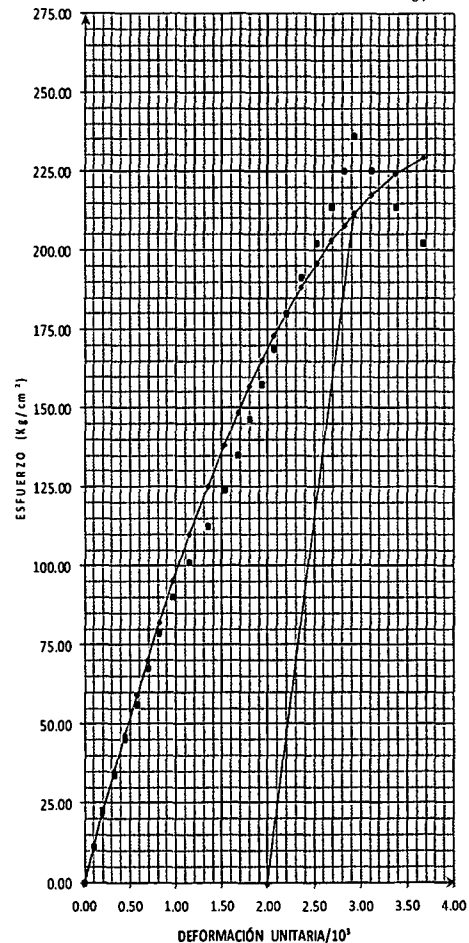
$$E = \tan \theta$$

$$E = 222468.68 \text{ kg/cm}^2$$



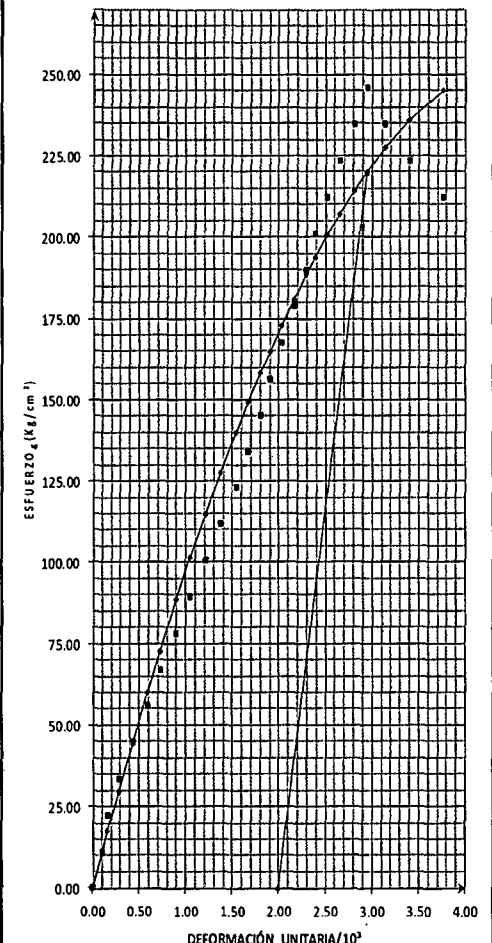
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 7 (DOSIFICACIÓN 0.70 %)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			21 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			29/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	177.90			
Altura (mm):	305			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.24	10.77
4000	0.060	0.20	22.49	21.29
6000	0.100	0.33	33.73	34.92
8000	0.135	0.44	44.97	46.47
10000	0.175	0.57	56.21	59.25
12000	0.210	0.69	67.46	70.07
14000	0.250	0.82	78.70	82.00
16000	0.295	0.97	89.94	94.88
18000	0.350	1.15	101.18	109.84
20000	0.410	1.34	112.43	125.19
22000	0.465	1.52	123.67	138.37
24000	0.510	1.67	134.91	148.51
26000	0.550	1.80	146.15	157.04
28000	0.590	1.93	157.40	165.12
30000	0.630	2.07	168.64	172.75
32000	0.670	2.20	179.88	179.93
34000	0.720	2.36	191.12	188.26
36000	0.770	2.52	202.37	195.89
38000	0.820	2.69	213.61	202.80
40000	0.860	2.82	224.85	207.83
42000	0.890	2.92	236.09	211.30
40000	0.950	3.11	224.85	217.48
38000	1.030	3.38	213.61	224.13
36000	1.120	3.67	202.37	229.45
Ecuación	Esf. = -13.164x <sup>2</sup> + 111.69x - 3.6541			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9801			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	236.09			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	230167.69			
Ecuación Corregida	Esf. = -13.164x <sup>2</sup> + 110.82529x - 3.7			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 7**  
**DOSIFICACIÓN = 0.70 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 8 (DOSIFICACIÓN 0.70 %)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			21 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			29/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	179.08			
Altura (mm):	305.5			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.17	10.57
4000	0.050	0.16	22.34	17.49
6000	0.085	0.28	33.50	29.36
8000	0.130	0.43	44.67	44.18
10000	0.180	0.59	55.84	60.05
12000	0.220	0.72	67.01	72.30
14000	0.275	0.90	78.18	88.50
16000	0.320	1.05	89.35	101.19
18000	0.370	1.21	100.51	114.71
20000	0.420	1.37	111.68	127.61
22000	0.470	1.54	122.85	139.88
24000	0.510	1.67	134.02	149.25
26000	0.550	1.80	145.19	158.23
28000	0.580	1.90	156.36	164.70
30000	0.620	2.03	167.52	172.98
32000	0.660	2.16	178.69	180.87
34000	0.700	2.29	189.86	188.35
36000	0.730	2.39	201.03	193.71
38000	0.770	2.52	212.20	200.50
40000	0.810	2.65	223.37	206.90
42000	0.860	2.82	234.53	214.33
44000	0.900	2.95	245.70	219.84
42000	0.960	3.14	234.53	227.34
40000	1.040	3.40	223.37	235.96
38000	1.150	3.76	212.20	245.23
Ecuación	Esf. = -11.581x <sup>2</sup> + 109.61x - 4.1039			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9724			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	245.70			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	232386.31			
Ecuación Corregida	Esf. = -11.581x <sup>2</sup> + 108.739x - 4.1			

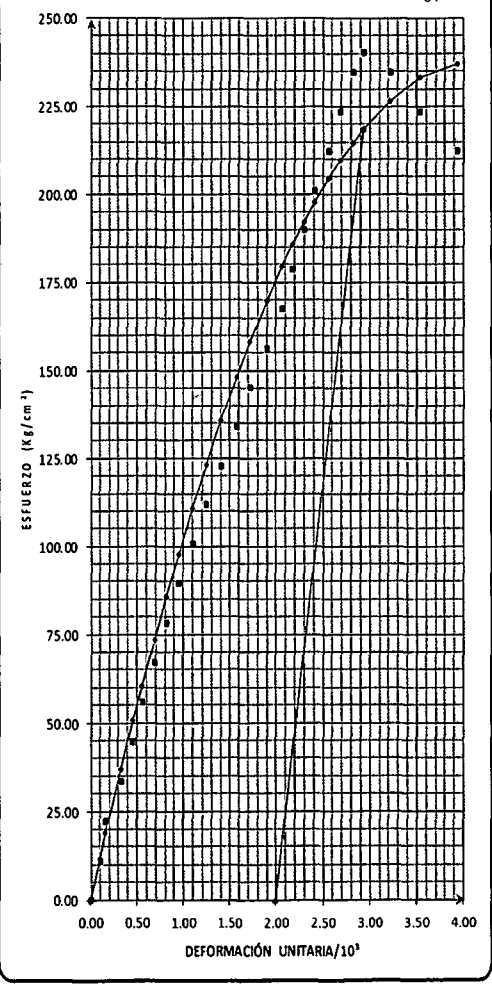
**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 8**  
**DOSIFICACIÓN = 0.70 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 9 (DOSIFICACIÓN 0.70%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			21 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			29/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):			210	
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):			179.08	
Altura (mm):			305	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.17	11.32
4000	0.050	0.16	22.34	18.71
6000	0.100	0.33	33.50	36.65
8000	0.140	0.46	44.67	50.45
10000	0.170	0.56	55.84	60.48
12000	0.210	0.69	67.01	73.42
14000	0.250	0.82	78.18	85.86
16000	0.290	0.95	89.35	97.82
18000	0.335	1.10	100.51	110.68
20000	0.380	1.25	111.68	122.91
22000	0.430	1.41	122.85	135.78
24000	0.480	1.57	134.02	147.87
26000	0.525	1.72	145.19	158.10
28000	0.580	1.90	156.36	169.75
30000	0.630	2.07	167.52	179.54
32000	0.665	2.18	178.69	185.93
34000	0.700	2.30	189.86	191.95
36000	0.735	2.41	201.03	197.59
38000	0.780	2.56	212.20	204.29
40000	0.820	2.69	223.37	209.72
42000	0.860	2.82	234.53	214.65
43000	0.895	2.93	240.12	218.57
42000	0.980	3.21	234.53	226.51
40000	1.080	3.54	223.37	233.01
38000	1.200	3.93	212.20	236.74
Ecuación	Esf. = -14.313x <sup>2</sup> +117.89x-5.7522			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9809			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	240.12			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	233907.27			
Ecuación Corregida	Esf. = -14.313x <sup>2</sup> +116.484x-5.8			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 9**  
**DOSIFICACIÓN = 0.70 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**

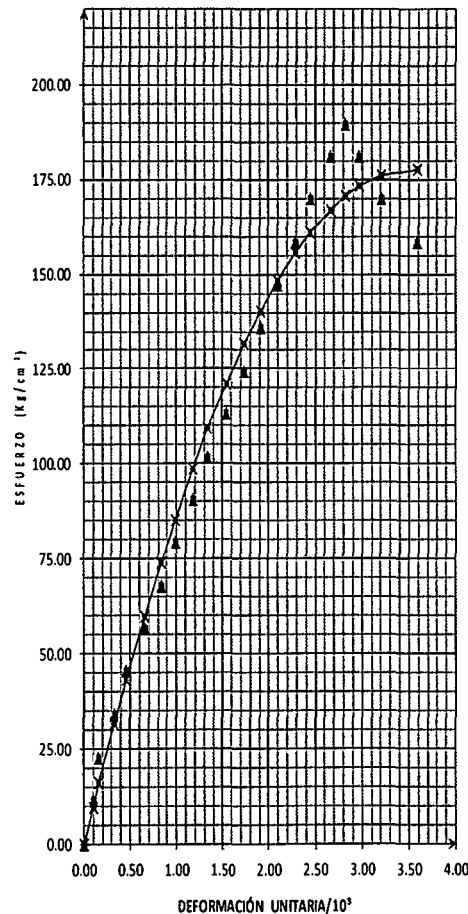
$y = -14.313x^2 + 117.89x - 5.7522$   
 $R^2 = 0.9809$   
 $E = \tan \theta$   
 $E = 233907.27 \text{ kg/cm}^2$





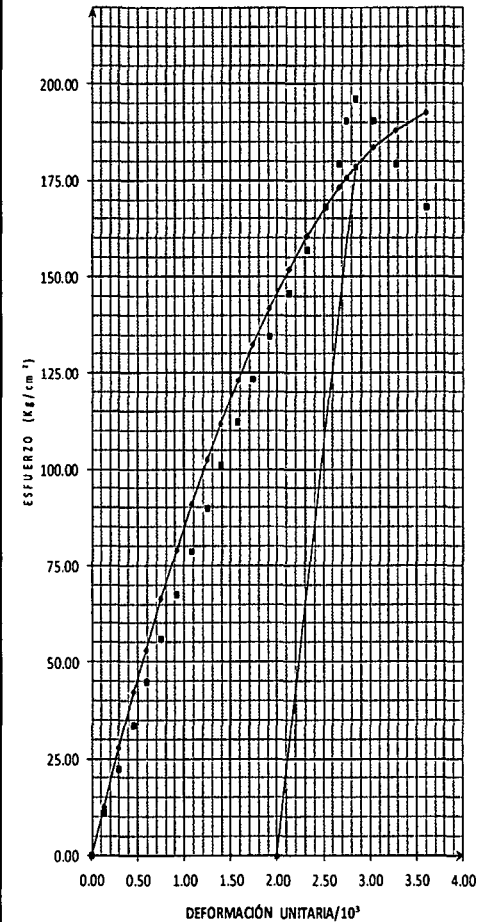
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 1 (DOSIFICACIÓN 1.00%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			7 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			15/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	176.72			
Altura (mm):	306			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.32	9.74
4000	0.050	0.16	22.64	16.08
6000	0.100	0.33	33.95	31.40
8000	0.140	0.45	45.27	43.10
10000	0.200	0.65	56.59	59.74
12000	0.255	0.83	67.91	74.03
14000	0.300	0.98	79.22	85.04
16000	0.360	1.18	90.54	98.75
18000	0.410	1.34	101.86	109.33
20000	0.470	1.54	113.18	121.03
22000	0.530	1.73	124.49	131.62
24000	0.585	1.91	135.81	140.37
26000	0.640	2.09	147.13	148.20
28000	0.700	2.29	158.45	155.68
30000	0.750	2.45	169.76	161.07
32000	0.815	2.66	181.08	166.95
33500	0.865	2.83	189.57	170.59
32000	0.910	2.97	181.08	173.21
30000	0.980	3.20	169.76	176.07
28000	1.100	3.59	158.45	177.48
Ecuación	Esf. = -14.292x <sup>2</sup> +101.03x-0.9959			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9803			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	189.57			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	206325.58			
Ecuación Corregida	Esf. = -14.292x <sup>2</sup> +100.7478401x-1			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 1**  $y = -14.292x^2 + 101.03x - 0.9959$   
 $R^2 = 0.9803$   
**DOSIFICACIÓN = 1.00 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**  
 $E = \tan \theta$   
 $E = 206325.58 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 2 (DOSIFICACIÓN 1.00%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			7 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			15/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	178.49			
Altura (mm):	305.75			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.040	0.13	11.21	12.53
4000	0.090	0.29	22.41	27.61
6000	0.140	0.46	33.62	42.04
8000	0.180	0.59	44.82	53.11
10000	0.230	0.75	56.03	66.36
12000	0.280	0.92	67.23	78.96
14000	0.330	1.08	78.44	90.91
16000	0.380	1.24	89.64	102.21
18000	0.425	1.39	100.85	111.81
20000	0.480	1.57	112.05	122.84
22000	0.530	1.73	123.26	132.17
24000	0.585	1.91	134.46	141.69
26000	0.650	2.13	145.67	151.92
28000	0.710	2.32	156.87	160.38
30000	0.770	2.52	168.08	167.91
32000	0.815	2.67	179.29	172.93
34000	0.840	2.75	190.49	175.50
35000	0.870	2.85	196.09	178.36
34000	0.930	3.04	190.49	183.38
32000	1.000	3.27	179.29	188.04
30000	1.100	3.60	168.08	192.49
Ecuación	Esf. = -12.201x <sup>2</sup> +99.433x-8.2042			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9787			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	196.09			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	210958.36			
Ecuación Corregida	Esf. = -12.201x <sup>2</sup> +97.39878702x-8.2			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 2**  $y = -12.201x^2 + 99.433x - 8.2042$   
 $R^2 = 0.9787$   
**DOSIFICACIÓN = 1.00 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**  
 $E = \tan \theta$   
 $E = 210958.36 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 3 (DOSIFICACIÓN 1.00%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			7 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			15/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm²):			210	
Area de la probeta (cm²):			178.49	
Altura (mm):			307	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10³	Esfuerzo (kg/cm²)	Esfuerzo corregido (kg/cm²)
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.21	6.08
4000	0.055	0.18	22.41	16.46
6000	0.110	0.36	33.62	32.13
8000	0.150	0.49	44.82	43.03
10000	0.200	0.65	56.03	56.05
12000	0.260	0.85	67.23	70.82
14000	0.330	1.07	78.44	86.84
16000	0.385	1.25	89.64	98.52
18000	0.440	1.43	100.85	109.41
20000	0.500	1.63	112.05	120.38
22000	0.550	1.79	123.26	128.80
24000	0.610	1.99	134.46	138.03
26000	0.670	2.18	145.67	146.32
28000	0.730	2.38	156.87	153.65
30000	0.780	2.54	168.08	159.04
32000	0.810	2.64	179.29	161.96
33000	0.865	2.82	184.89	166.69
32000	0.900	2.93	179.29	169.29
30000	0.980	3.19	168.08	174.01
28000	1.100	3.58	156.87	177.94
Ecuación	Esf. = -14.41x² + 94.20x - 0.2294			
Coef. de correlación	R² = 0.9767			
Esfuerzo de rotura (kg/cm²)	184.89			
Módulo de elasticidad (kg/cm²)	203879.82			
Ecuación Corregida	Esf. = -14.41x² + 94.126788x - 0.2			

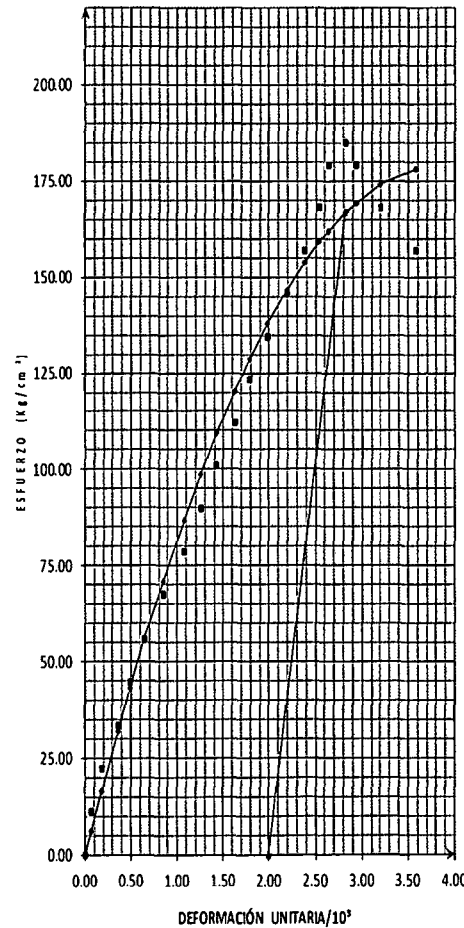
**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 3**  
**DOSIFICACIÓN = 1.00 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm²**

$$y = -12.41x^2 + 94.197x - 0.2294$$

$$R^2 = 0.9767$$

$$E = \tan \theta$$

$$E = 203879.82 \text{ kg/cm}^2$$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 4 (DOSIFICACIÓN 1.00%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			14 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			22/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm²):			210	
Area de la probeta (cm²):			178.49	
Altura (mm):			305	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10³	Esfuerzo (kg/cm²)	Esfuerzo corregido (kg/cm²)
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.21	6.83
4000	0.060	0.20	22.41	20.21
6000	0.100	0.33	33.62	33.18
8000	0.150	0.49	44.82	48.85
10000	0.190	0.62	56.03	60.93
12000	0.220	0.72	67.23	69.74
14000	0.275	0.90	78.44	85.30
16000	0.330	1.08	89.64	100.12
18000	0.380	1.25	100.85	112.94
20000	0.430	1.41	112.05	125.14
22000	0.485	1.59	123.26	137.84
24000	0.530	1.74	134.46	147.68
26000	0.570	1.87	145.67	156.01
28000	0.620	2.03	156.87	165.86
30000	0.665	2.18	168.08	174.19
32000	0.700	2.30	179.29	180.33
34000	0.740	2.43	190.49	186.97
36000	0.785	2.57	201.70	193.97
38000	0.820	2.69	212.90	199.07
40000	0.850	2.79	224.11	203.20
42000	0.885	2.90	235.31	207.73
40000	0.960	3.15	224.11	216.43
38000	1.030	3.38	212.90	223.29
36000	1.150	3.77	201.70	232.23
Ecuación	Esf. = -11.509x² + 105.83x - 3.8675			
Coef. de correlación	R² = 0.9738			
Esfuerzo de rotura (kg/cm²)	235.31			
Módulo de elasticidad (kg/cm²)	230391.19			
Ecuación Corregida	Esf. = -11.509x² + 104.98x - 3.9			

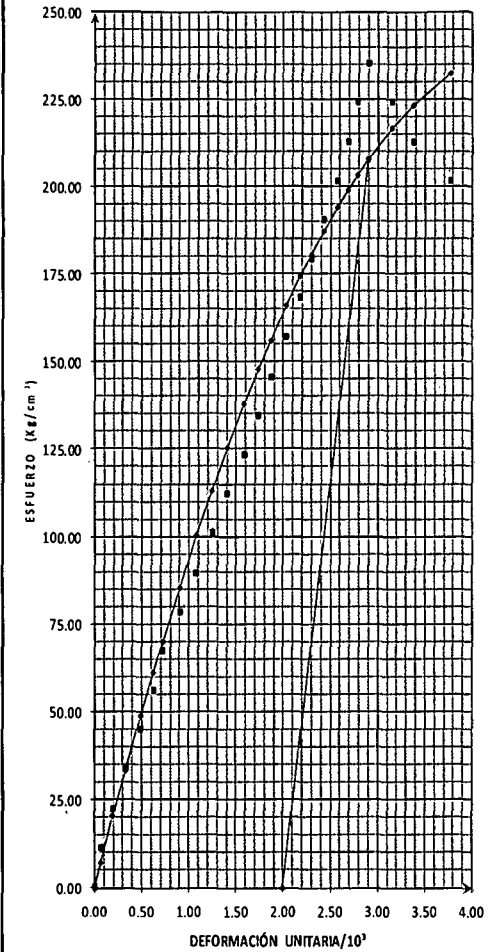
**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 4**  
**DOSIFICACIÓN = 1.00 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm²**

$$y = -11.509x^2 + 105.83x - 3.8675$$

$$R^2 = 0.9738$$

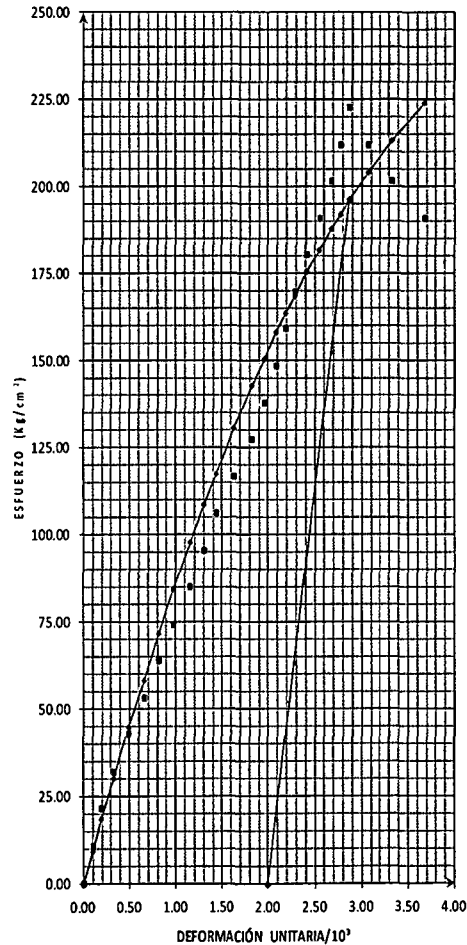
$$E = \tan \theta$$

$$E = 230391.19 \text{ kg/cm}^2$$



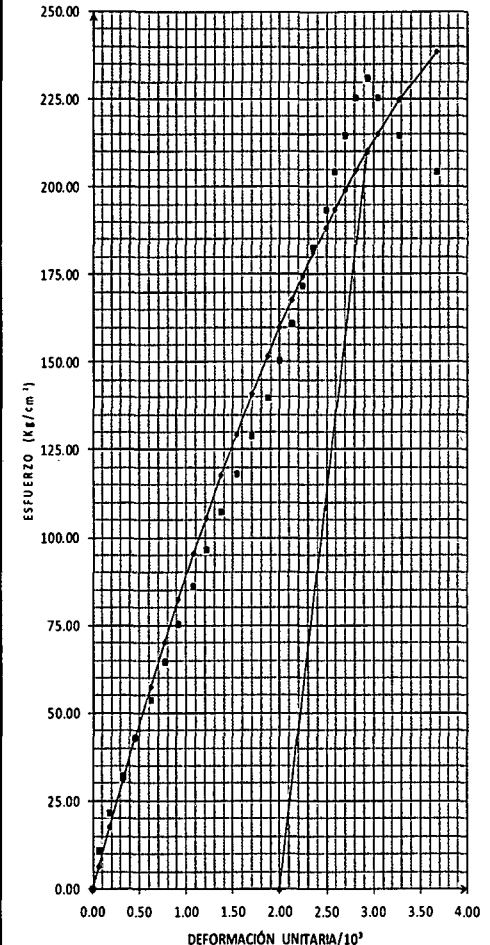
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 5 (DOSIFICACIÓN 1.00%)				
Cemento:	Pacamayto Tipo I		ASTM C-150	
Edad:	14 días			
Fecha de elaboración:	08/11/2014			
Fecha de rotura:	22/11/2014			
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	188.69			
Altura (mm):	306.5			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	10.60	9.22
4000	0.060	0.20	21.20	18.25
6000	0.100	0.33	31.80	30.02
8000	0.150	0.49	42.40	44.29
10000	0.200	0.65	53.00	58.06
12000	0.250	0.82	63.60	71.33
14000	0.300	0.98	74.19	84.11
16000	0.355	1.16	84.79	97.59
18000	0.400	1.31	95.39	108.18
20000	0.440	1.44	105.99	117.25
22000	0.500	1.63	116.59	130.26
24000	0.560	1.83	127.19	142.55
26000	0.600	1.96	137.79	150.35
28000	0.640	2.09	148.39	157.83
30000	0.670	2.19	158.99	163.23
32000	0.700	2.28	169.59	168.46
34000	0.740	2.41	180.19	175.14
36000	0.780	2.54	190.79	181.51
38000	0.820	2.68	201.39	187.56
40000	0.850	2.77	211.99	191.89
42000	0.880	2.87	222.58	196.04
40000	0.940	3.07	211.99	203.81
38000	1.020	3.33	201.39	213.05
36000	1.130	3.69	190.79	223.62
Ecuación	Esf. = -9.3283x <sup>2</sup> + 95.899x - 4.2729			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9685			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	222.58			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	225047.23			
Ecuación Corregida	Esf. = -9.3283x <sup>2</sup> + 95.06x - 4.2			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 5**  
**DOSIFICACIÓN = 1.00 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**



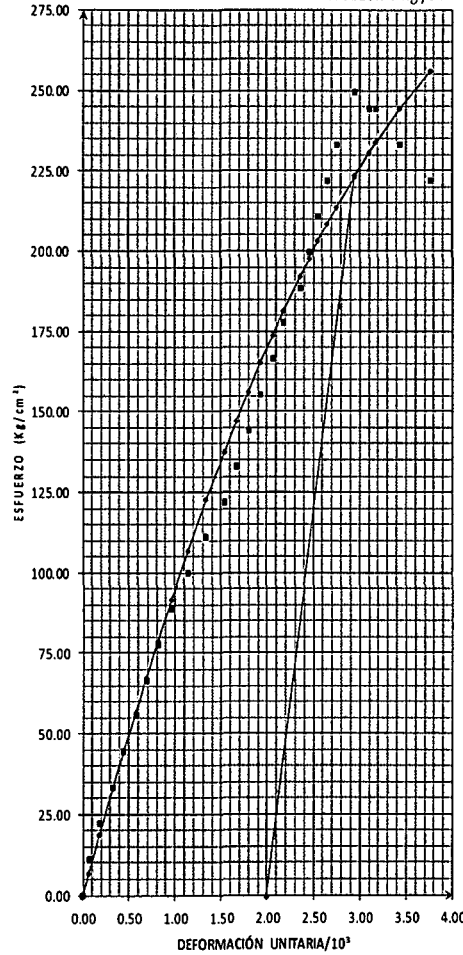
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 6 (DOSIFICACIÓN 1.00%)				
Cemento:	Pacamayto Tipo I		ASTM C-150	
Edad:	14 días			
Fecha de elaboración:	08/11/2014			
Fecha de rotura:	22/11/2014			
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	186.27			
Altura (mm):	305.5			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	10.74	6.37
4000	0.055	0.18	21.47	17.34
6000	0.100	0.33	32.21	31.09
8000	0.140	0.46	42.95	42.99
10000	0.190	0.62	53.69	57.43
12000	0.235	0.77	64.42	70.02
14000	0.280	0.92	75.16	82.22
16000	0.330	1.08	85.90	95.32
18000	0.370	1.21	96.64	105.45
20000	0.420	1.37	107.37	117.68
22000	0.470	1.54	118.11	129.43
24000	0.520	1.70	128.85	140.71
26000	0.570	1.87	139.59	151.50
28000	0.610	2.00	150.32	159.79
30000	0.650	2.13	161.06	167.77
32000	0.685	2.24	171.80	174.50
34000	0.720	2.36	182.54	181.00
36000	0.760	2.49	193.27	188.14
38000	0.790	2.59	204.01	193.29
40000	0.825	2.70	214.75	199.08
42000	0.860	2.82	225.48	204.63
43000	0.895	2.93	230.85	209.96
42000	0.930	3.04	225.48	215.04
40000	1.000	3.27	214.75	224.51
38000	1.120	3.67	204.01	238.54
Ecuación	Esf. = -8.9461x <sup>2</sup> + 98.428x - 2.7899			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.975			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	230.85			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	225849.89			
Ecuación Corregida	Esf. = -8.9461x <sup>2</sup> + 97.92x - 2.8			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 6**  
**DOSIFICACIÓN = 1.00 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**



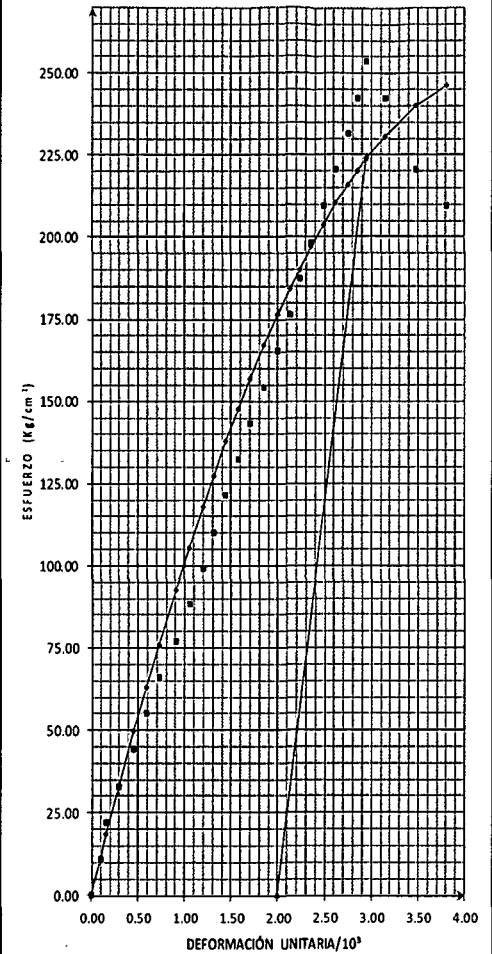
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 7 (DOSIFICACIÓN 1.00%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I	ASTM C-150		
Edad:		21 días		
Fecha de elaboración:		08/11/2014		
Fecha de rotura:		29/11/2014		
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	180.27			
Altura (mm):	305.5			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.020	0.07	11.09	6.78
4000	0.055	0.18	22.19	18.44
6000	0.100	0.33	33.28	33.06
8000	0.135	0.44	44.38	44.14
10000	0.175	0.57	55.47	56.50
12000	0.210	0.69	66.57	67.04
14000	0.250	0.82	77.66	78.78
16000	0.295	0.97	88.76	91.59
18000	0.350	1.15	99.85	106.69
20000	0.410	1.34	110.95	122.45
22000	0.470	1.54	122.04	137.46
24000	0.510	1.67	133.14	147.06
26000	0.550	1.80	144.23	156.33
28000	0.590	1.93	155.33	165.26
30000	0.630	2.06	166.42	173.87
32000	0.665	2.18	177.51	181.14
34000	0.720	2.36	188.61	192.04
36000	0.750	2.45	199.70	197.72
38000	0.780	2.55	210.80	203.22
40000	0.810	2.65	221.89	208.54
42000	0.840	2.75	232.99	213.66
44000	0.970	3.18	244.08	233.74
45000	0.900	2.95	249.63	223.36
44000	0.950	3.11	244.08	230.88
42000	1.050	3.44	232.99	244.37
40000	1.150	3.76	221.89	255.80
Ecuación	Esf. = -9.612x <sup>2</sup> + 104.48x - 1.8631			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9777			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	249.63			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	236116.94			
Ecuación Corregida	Esf. = -9.612x <sup>2</sup> + 104.14x - 1.9			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 7**  
**DOSIFICACIÓN = 1.00 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**  
 $E = \tan \theta$   
 $E = 236116.94 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 8 (DOSIFICACIÓN 1.00%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I	ASTM C-150		
Edad:		21 días		
Fecha de elaboración:		08/11/2014		
Fecha de rotura:		29/11/2014		
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	181.46			
Altura (mm):	305			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.02	11.11
4000	0.050	0.16	22.04	18.37
6000	0.090	0.30	33.07	32.57
8000	0.140	0.46	44.09	49.68
10000	0.180	0.59	55.11	62.87
12000	0.220	0.72	66.13	75.61
14000	0.275	0.90	77.15	92.41
16000	0.320	1.05	88.17	105.51
18000	0.365	1.20	99.20	118.06
20000	0.400	1.31	110.22	127.42
22000	0.440	1.44	121.24	137.71
24000	0.480	1.57	132.26	147.54
26000	0.520	1.70	143.28	156.93
28000	0.565	1.85	154.30	166.96
30000	0.610	2.00	165.33	176.42
32000	0.650	2.13	176.35	184.36
34000	0.680	2.23	187.37	190.02
36000	0.720	2.36	198.39	197.17
38000	0.760	2.49	209.41	203.88
40000	0.800	2.62	220.44	210.14
42000	0.840	2.75	231.46	215.95
44000	0.870	2.85	242.48	220.02
46000	0.900	2.95	253.50	223.83
44000	0.960	3.15	242.48	230.71
40000	1.060	3.48	220.44	239.93
38000	1.160	3.80	209.41	246.36
Ecuación	Esf. = -12.996x <sup>2</sup> + 115.94x - 7.6871			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9675			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	253.50			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	235411.50			
Ecuación Corregida	Esf. = -12.996x <sup>2</sup> + 114.20x - 7.7			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 8**  
**DOSIFICACIÓN = 1.00 %**  
**Esfuerzo Vs Deformación**  
**del concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**  
 $E = \tan \theta$   
 $E = 235411.50 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
ESPECIMEN CON ADITIVO N° 9 (DOSIFICACIÓN 1.00%)				
Cemento:	Pacasmayo Tipo I		ASTM C-150	
Edad:			21 días	
Fecha de elaboración:			08/11/2014	
Fecha de rotura:			29/11/2014	
Resistencia característica (kg/cm <sup>2</sup> ):	210			
Area de la probeta (cm <sup>2</sup> ):	181.46			
Altura (mm):	306			
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 <sup>3</sup>	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo corregido (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.030	0.10	11.02	11.08
4000	0.050	0.16	22.04	18.31
6000	0.100	0.33	33.07	35.89
8000	0.140	0.46	44.09	49.43
10000	0.170	0.56	55.11	59.27
12000	0.210	0.69	66.13	71.99
14000	0.250	0.82	77.15	84.23
16000	0.290	0.95	88.17	96.00
18000	0.335	1.09	99.20	108.68
20000	0.380	1.24	110.22	120.77
22000	0.430	1.41	121.24	133.51
24000	0.480	1.57	132.26	145.51
26000	0.525	1.72	143.28	155.68
28000	0.580	1.90	154.30	167.30
30000	0.630	2.06	165.33	177.10
32000	0.665	2.17	176.35	183.52
34000	0.700	2.29	187.37	189.58
36000	0.735	2.40	198.39	195.28
38000	0.780	2.55	209.41	202.08
40000	0.820	2.68	220.44	207.63
42000	0.860	2.81	231.46	212.71
44000	0.890	2.91	242.48	216.21
42000	0.960	3.14	231.46	223.34
40000	1.060	3.46	220.44	231.04
38000	1.170	3.82	209.41	236.11
Ecuación	Esf. = -13.751x <sup>2</sup> +115.59x-5.2649			
Coef. de correlación	R <sup>2</sup> = 0.9792			
Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	242.48			
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	237981.33			
Ecuación Corregida	Esf. = -13.751x <sup>2</sup> +114.33x-5			

**ESPECIMEN CON ADITIVO N° 9**

**DOSIFICACIÓN = 1.00 %**

**Esfuerzo Vs Deformación**

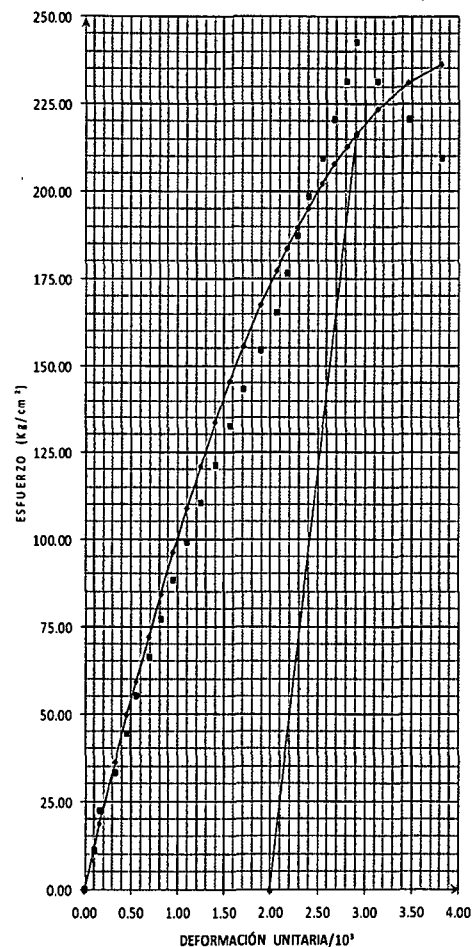
**del concreto f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>**

$$y = -13.751x^2 + 115.59x - 5.2649$$

$$R^2 = 0.9792$$

$$E = \tan \theta$$

$$E = 237981.33 \text{ kg/cm}^2$$



## PANEL FOTOGRÁFICO



**Fotografía N°01:** Observación y recolección de agregado grueso. En cantera “La Banda”  
Llacanora-Cajamarca.



**Fotografía N°02:** Recolección de agregado fino. En cantera “La Banda” Llacanora-Cajamarca.



**Fotografía N°03:** Realizando los ensayos de granulometría de los agregados.



**Fotografía N°04:** Realizando los ensayos de granulometría de los agregados.



**Fotografía N°05:** Pesado de agregado fino.



**Fotografía N°06: Elaboración de concreto.**

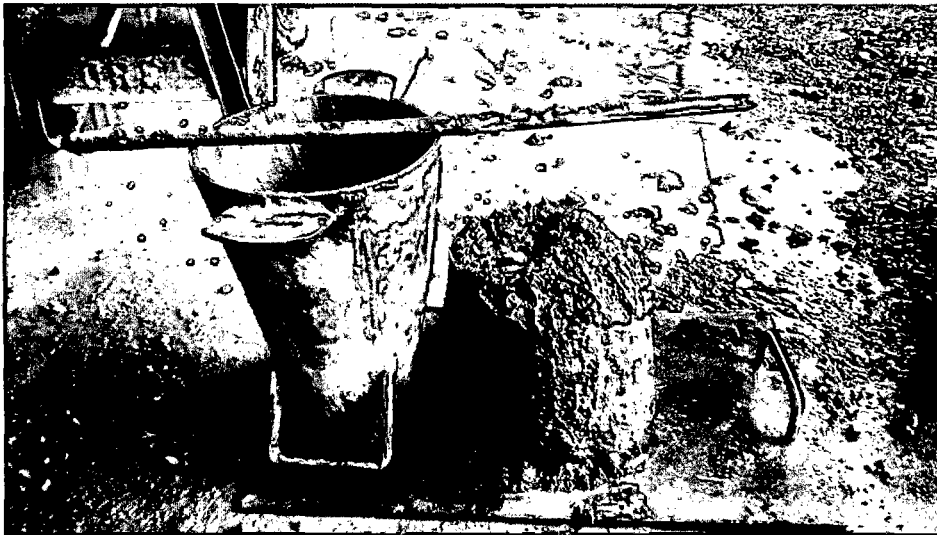


**Fotografía N°07: Colocación de mezcla de concreto en moldes.**





**Fotografía N°08:** Concreto preparado, listo para ser colocado en moldes.



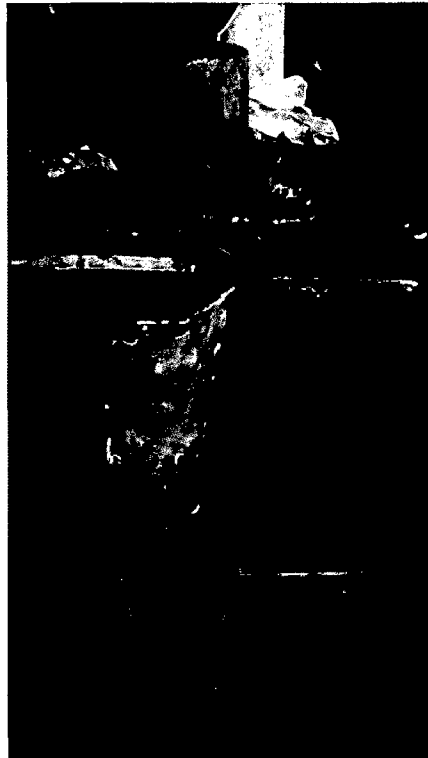
**Fotografía N°09:** Prueba de asentamiento de concreto, para determinar el slump.



**Fotografía N°10:** Moldes ya enrasados.



**Fotografía N°11:** Componentes de concreto listos para la mezcla. Podemos observar los agregados, cemento, agua y la fibra de polipropileno Fibromac.



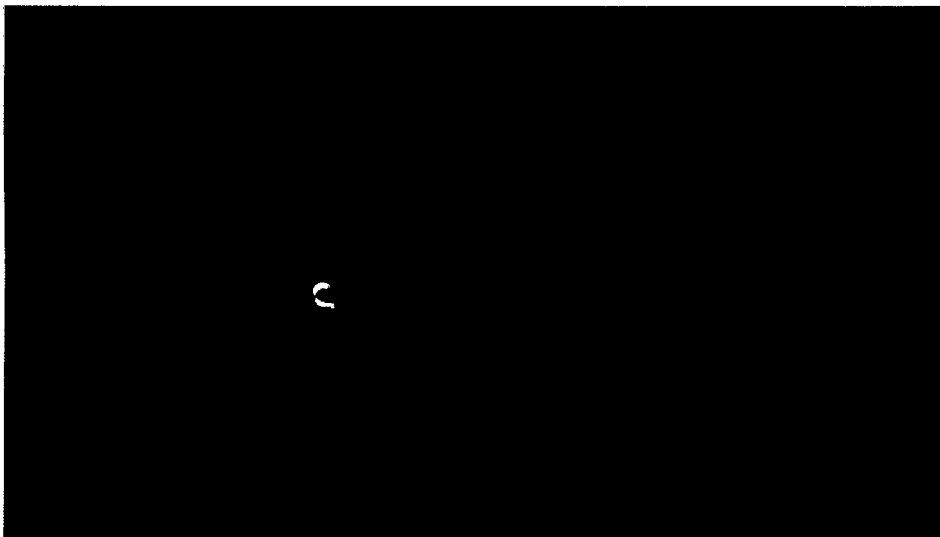
**Fotografía N°12:** Prueba de asentamiento (slump) de otra tanda preparada.



**Fotografía N°13:** Otra tanda de componentes de concreto listos para la mezcla.



**Fotografía N°14:** Colocación de la mezcla de concreto en moldes.



**Fotografía N°15:** Moldes de concreto, llenos y enrasados.



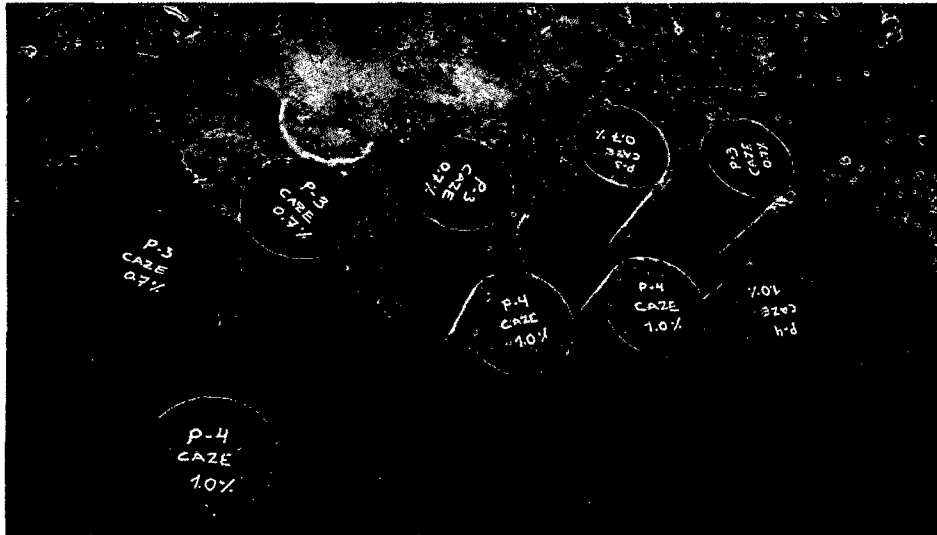
**Fotografía N°16:** Desmolde de probetas de concreto.



**Fotografía N°17:** Probetas de concreto debidamente rotuladas.



**Fotografía N°18:** Probetas de concreto.



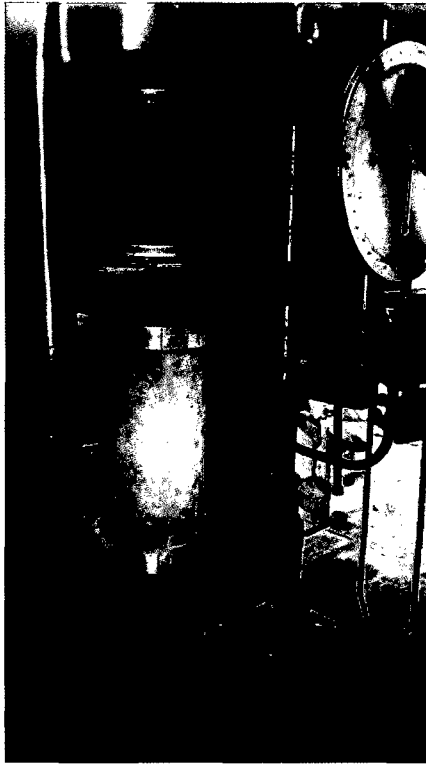
Fotografía N°19: Probetas de concreto. Otra tanda.



Fotografía N°20: Probetas de concreto. Otra tanda.



Fotografía N°21: Curado de probetas de concreto en poza de agua del laboratorio.



**Fotografía N°22:** Especimen de concreto, en la máquina para determinar la resistencia a compresión.



**Fotografía N°23:** Especímenes de concreto, ya sometidos a la carga en la máquina.

# FibroMac® 12

## Fibras para Refuerzo del Concreto

### Características técnicas

FibroMac® 12 es una fibra de polipropileno producida a partir de multifilamentos, indicada para el refuerzo de concretos y morteros con la finalidad de generar un compuesto homogéneo y controlar la fisuración por retracción.



Propiedades Físicas		
Diámetro	µm	18
Sección		Circular
Largo	mm	12
Alargamiento	%	80
Matéria-prima		polipropileno
Peso Específico	g/cm <sup>3</sup>	0.91
Propiedades Mecánicas		
Temperatura de fusión	°C	160
Resistencia a la tracción	MPa (N/mm <sup>2</sup> )	300
Módulo de Yang	MPa	3 000
Aplicación		
Campos de aplicación indicados		concreto proyectado, prefabricados, pavimentos, pisos, revestimientos.
Cantidad de fibras por kilo		300 000 000
Área superficial específica	m <sup>2</sup> / kg	225
Dosaje (recomendación mínima)	g / m <sup>3</sup>	600
Presentación		

Las fibras sintéticas FibroMac® 6 son acondicionadas en sacos hidrosolubles de 600g.

**MACCAFERRI**  
AMÉRICA LATINA

Maccaferri se reserva el derecho de revisar estas especificaciones en cualquier momento, de acuerdo con las características de los productos fabricados.  
[www.maccaferri.com.br](http://www.maccaferri.com.br)

Sistema de Gestión de Calidad  
Certificado de Conformidad con la  
Norma ISO 9001

**ISO 9001**  
Ago. 2008