



Figura 25: Pesado de agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

- Se repite el proceso tres veces.

c) Toma de datos.

Tabla 27: Ficha de recolección de datos para ensayo de peso unitario del agregado fino.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'c = 210 KG/CM ² Y UN CONCRETO F'c = 210 KG/CM ² ADICIONADO CON 0.6 KG/M ³ Y 1.0 KG/M ³ DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."			
Lugar:	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar	Fecha:	
Responsable:	Danae Sosamin Angelino Alagon	24/03/2018	
<u>PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO</u>			
ENSAYO	E-1	E-2	E-3
PESO DEL RECIPIENTE (kg)	6.68	6.68	6.68
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	0.002127921	0.002127921	0.002127921
PESO DEL MATERIAL + TARA SIN COMPACTAR (kg)	10.23	10.25	10.18
PESO DEL MATERIAL SUELTO (kg)			
PESO DEL MATERIAL + TARA COMPACTADO (kg)	10.51	10.47	10.53
PESO DEL MATERIAL COMPACTADO (kg)			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28: Ficha de recolección de datos para ensayo de peso unitario del agregado grueso.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'c = 210 KG/CM ² Y UN CONCRETO F'c = 210 KG/CM ² ADICIONADO CON 0.6 KG/M ³ Y 1.0 KG/M ³ DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."			
Lugar	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar	Fecha:	24/03/2018
Responsable:	Danae Sosamin Angelino Alagon		
<u>PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO</u>			
ENSAYO	E-1	E-2	E-3
PESO DEL RECIPIENTE (kg)	6.68	6.68	6.68
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	0.002127921	0.002127921	0.002127921
PESO DEL MATERIAL + TARA SIN COMPACTAR (kg)	9.97	10	9.91
PESO DEL MATERIAL SUELTO (kg)			
PESO DEL MATERIAL + TARA COMPACTADO (kg)	10.42	10.46	10.39
PESO DEL MATERIAL COMPACTADO (kg)			

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Peso específico y absorción de agregado fino.

Para este ensayo emplea el material que pasa el tamiz N°4, disgregándose los terrones si los tuviera para que pase por el tamiz N°4, y la muestra sea representativa.

a) Equipos y materiales.

- Balanza de precisión 0.5 g.
- Picnómetro o fiola, frasco volumétrico de capacidad de 500 ml.
- Molde cónico metálico con las siguientes dimensiones:
 - Diámetro Superior: 40 mm
 - Diámetro Inferior: 90 mm
 - Altura: 75 mm
 - Espesor mínimo: 0.8mm
- Apisonador de metal, con un peso de 340 = 15 g, con un extremo de superficie plana circular de 25 mm de diámetro de contacto
- Horno para materiales (°C).
- Bomba de vacíos.
- 500 g de agregado fino.

b) Procedimiento.

- Se anota el peso del picnómetro con agua hasta el nivel de 500 ml.

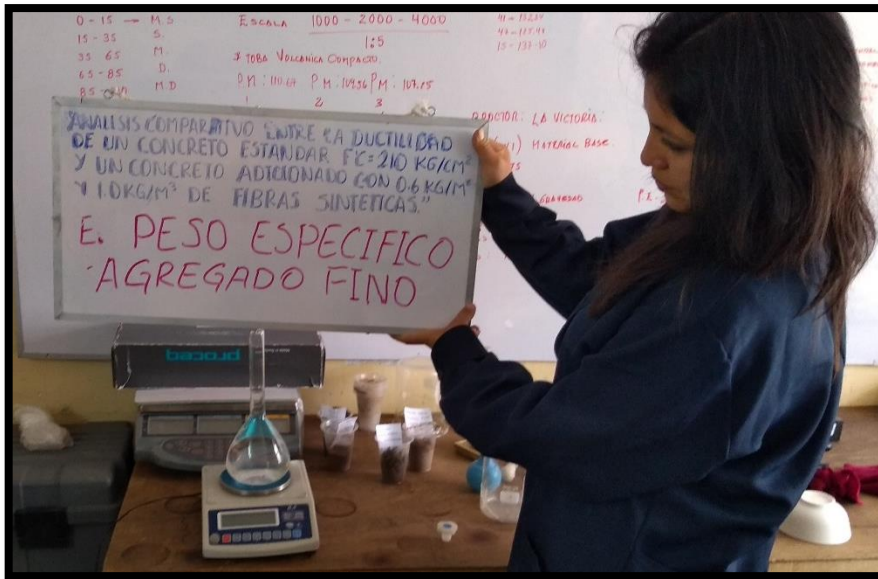


Figura 26: Peso del picnómetro con agua.

Fuente: Elaboración propia.

- Se cuartea el material hasta conseguir una muestra de más de 1 kg el material que pasa la malla N°4, se pone a secar a 110 °C hasta peso constante, se enfría a temperatura ambiente de 1 a 3 horas y se sumerge en un recipiente con agua por 24 horas para lograr su saturación.

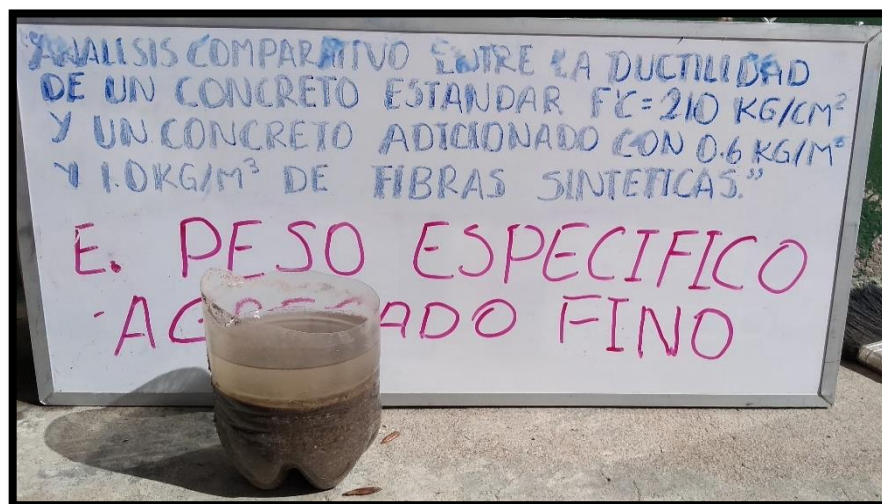


Figura 27: Agregado fino sumergido por 24 horas.

Fuente: Elaboración propia.

- Trascurrido ese tiempo se vierte el agua, con mucho cuidado para que no se pierda el material arcilloso.
- El agregado húmedo se coloca en bandeja y se lleva al horno muy moderado (60ª C) o estufa para que gradualmente pierda humedad, removiendo constantemente para que la humedad sea uniforme y poder obtener una muestra en estado saturado superficialmente seco, el que se comprueba cuando se realice la prueba del cono.
- Se coloca el agregado hasta la tercera parte del cono metálico, y se le da unos cuantos golpes con el apisonador. Se repite esa operación 3 veces debiendo de sumar 25 el número de golpes en las tres veces que se apisona la muestra.



Figura 28: colocado de muestra superficialmente seco en el cono.

Fuente: Elaboración propia.

- Se vuelve a completar, se enrasa y se retira el cono:
 - Si se queda con forma tronco-cónica tiene más humedad que la correspondiente al estado saturado superficialmente seco.
 - Si se queda con forma cónica terminada en punta sin desmoronarse, tiene la humedad correspondiente al estado saturado superficialmente seco.
 - Si se desmorona, tiene menos humedad que la correspondiente al estado saturado superficialmente seco.



Figura 29: Agregado fino en estado saturado superficialmente seco.

Fuente: Elaboración propia.

- Cuando el agregado se encuentra en el estado saturado superficialmente seco, se pesan 500 gr de material y se colocan en el picnómetro.
- Luego se termina de llenar el picnómetro con agua hasta un nivel aproximado a los 500 ml y con la bomba de vacíos se le quitan los vacíos que tenga el material hasta que se eliminen las burbujas de aire y se pesa el picnómetro con muestra y agua.

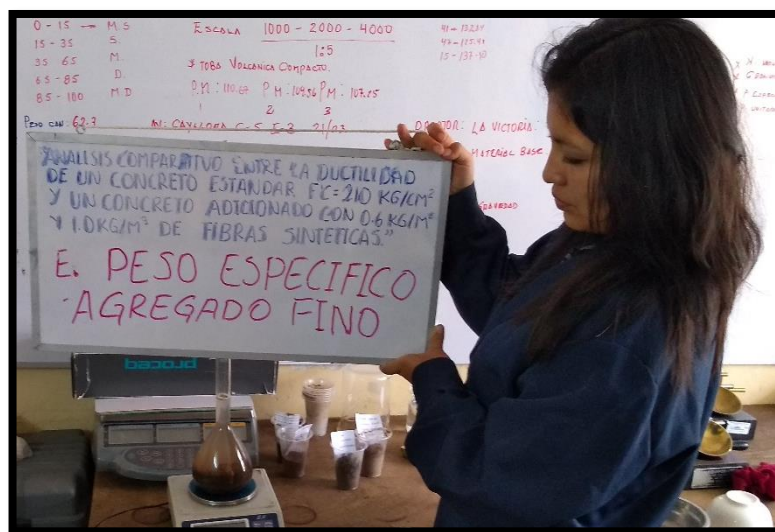


Figura 30: Pesado del picnómetro con muestra y agua.

Fuente: Elaboración propia.

- Se retira la muestra cuidando de no perder nada de material y se coloca en el horno por 24 horas, para luego ser pesada.

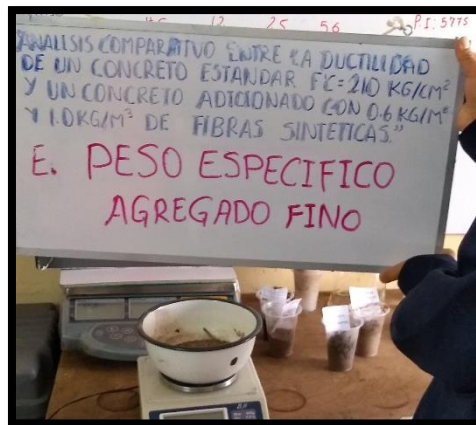


Figura 31: Pesado muestra retirada del picnómetro y secada por 24 horas.

Fuente: Elaboración propia.

c) Toma de datos.

Tabla 29: Ficha de recolección de datos para ensayo de peso específico del agregado fino.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'c = 210 KG/CM ² Y UN CONCRETO F'c = 210 KG/CM ² ADICIONADO CON 0.6 KG/M ³ Y 1.0 KG/M ³ DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."			
Lugar:	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar	Fecha:	
Responsable:	Danae Sosamin Angelino Alagon	25/03/2018	
<u>PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO</u>			
	NÚMERO DE ENSAYO	E-1	E-2
S	PESO DE LA MUESTRA S.S.S. (g)	500	500
	PESO DEL FIOLA SECO (g)	150.3	150.3
B	PESO DEL FIOLA + AGUA (g)	649.2	648.2
C	PESO S.S.S. + FIOLA + AGUA (g)	967.3	966.2
	PESO DE LA TARA (g)	80.5	82.7
	PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (g)	565.1	564
A	PESO DE LA MUESTRA SECA (g)		

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Peso específico y absorción de agregado grueso.

El material a ensayar es el que queda retenido en el tamiz N°4 para ello se selecciona por cuarteo aproximadamente 5 kg. del agregado y se elimina la fracción que pasa el tamiz N°4, luego se realiza el ensayo con un peso mínimo del agregado de acuerdo a su tamaño máximo nominal como observamos en la tabla 30.

Tabla 30: *Peso mínimo de muestra para el cálculo de peso específico.*

Tamaño máximo nominal (pulgada)	Peso mínimo de muestra (kg)
1/2"	2
3/4"	3
1"	4
1 1/2"	5
2"	8
2 1/2"	12
3	16

Fuente: NTP 400-022.

a) Equipos y materiales.

- Balanza de precisión 0.5 g.
- Franelas.
- Cesta cilíndrica, la abertura es para permitir que pase el agua y no el material.
- Balde donde se pueda sumergir completamente la cesta, esta cesta deberá estar sujeta a un alambre para conectarla con una balanza que debe estar encima del balde.
- Horno para materiales (°C).
- 4 kg de agregado grueso.

b) Procedimiento.

- Se lava la muestra y se pone a secar en el horno a temperatura constante de 110 °C, se pone a enfriar a temperatura ambiente y se sumerge en un depósito con agua por 24 horas para su saturación.

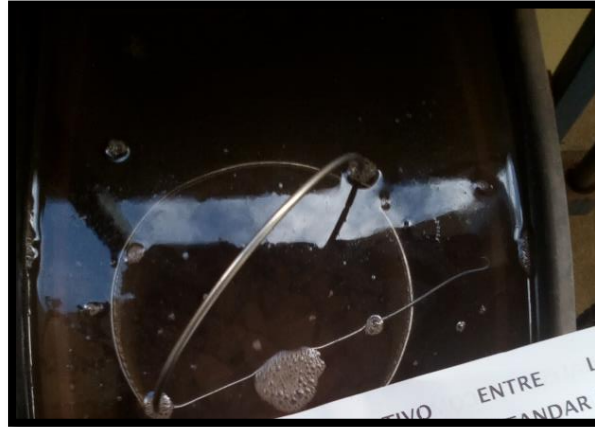


Figura 32: Muestra sumergida por 24 horas.

Fuente: Elaboración propia.

- Transcurrido el tiempo de saturación, se le retira el exceso de agua, y se le va quitando humedad con una tela apropiada (puede ser franela, toalla u otra tela que absorba la humedad) hasta conseguir que toda su superficie quede sin agua, pero no seca, sino opaca (estado saturado superficialmente seco).



Figura 33: Secado superficial de la muestra sumergida por 24 horas.

Fuente: Elaboración propia.

- Se anota el peso de material en estado saturado superficialmente seco, con aproximación de 0.5 g.
- Se determina el peso de la muestra sumergida completamente dentro del balde, conectando el cestillo a la balanza. Esto también se puede realizar mediante la balanza hidrostática. Es importante que no se pierda absolutamente nada de muestra del material que se pesó en estado saturado superficialmente seco porque distorsionaría los resultados.



Figura 34: Determinación del peso de la muestra saturada superficialmente seca.

Fuente: Elaboración propia.

- Se coloca la muestra en el horno a temperatura de 110 °C por 16 horas. Se enfría a temperatura ambiente por 1 a 3 horas y se anota su peso.



Figura 35: Colocado de la muestra en el horno.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 36: Pesado de la muestra secada en horno por 24 horas.

Fuente: Elaboración propia.

c) Toma de datos.

Tabla 31: Ficha de recolección de datos para ensayo de peso específico del agregado grueso.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'c = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."			
Lugar	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar	Fecha:	25/03/2018
Responsable:	Danae Sosamin Angelino Alagon		
PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO			
	NÚMERO DE ENSAYO	E-1	E-2
B	PESO DE LA MUESTRA S.S.S. (g)	3201.4	3909.3
C	PESO DE LA MUESTRA S.S.S. EN AGUA (g)	2026.6	2467.1
	PESO DE LA TARA (g)	397.9	662.7
	PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (g)	3570.5	4536.7
A	PESO DE LA MUESTRA SECA (g)	3172.6	3874

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6. Elaboración de las probetas cilíndricas de concreto patrón, concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintética y concreto adicionado 1.0 kg/m³ de fibras sintética.**a) Equipos y materiales.**

- Mezcladora de concreto de 6 pies³.
- Cono de Abrahams.
- Briquetas de 15*30 cm.
- Varilla de 5/8".
- Guantes de jebe.
- Balanza (g).
- Cucharones.
- Cemento.
- Agregado grueso.
- Agregado fino.
- Agua
- Fibras sintéticas.

b) Procedimiento.

- Primeramente, verificamos que los materiales a usar se encuentren en buen estado, es así que se revisa que las abrazaderas de las briqueteras estén enroscadas perfectamente y seguidamente engrasar las briqueteras.
- Se colocó los moldes en una superficie plana y firme, lugar donde permanecerán hasta que se desmolden.
- Seguidamente se alistaron las proporciones calculadas en el diseño de mezclas para el cemento, agregados y agua, en pies cúbicos, así mismo se procede al pesado de fibras calculadas para una bolsa de cemento; que para la primera relación de 0.6 kg/m^3 se calculó un peso de 122.6 g y para la segunda proporción de 1.0 kg/m^3 se calculó un peso de 200.3 g.



Figura 37: Pesado de fibras sintéticas para el mezclado de concreto.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 38: Cálculo de proporciones para la mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

- Se procede al mezclado de los componentes del concreto (agua, cemento, agregado grueso, agregado fino)



Figura 39: Mezclado de concreto.

Fuente: Elaboración propia.

- En el caso de concreto reforzado, se le añadió 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas y en otra tanda 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.



Figura 40: Añadido de fibras sintéticas a la mezcla de concreto.

Fuente: Elaboración propia.

- Seguidamente se realizó la prueba de asentamiento con el cono de Abrahams.



Figura 41: Colocado de muestra para prueba de slump con el cono de Abrams.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 42: Calculo del slump con el cono de Abrams.

Fuente: Elaboración propia.

- Luego se realiza el vaciado a las briquetetas de la siguiente manera: Se vació el concreto en 3 capas con un mismo volumen, en cada capa se apisonó con 25 golpes con la varilla de 5/8, después que cada capa varillada, se golpeó de 10 a 15 veces las paredes externas del molde con el martillo de goma, con el propósito acomodar la mezcla y eliminar el aire que pudo quedar atrapado.



Figura 43: Vaciado de briquetetas de concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.

Fuente: Elaboración propia.

- Se enrasó en la parte superior del molde con la varilla de compactación y con el badilejo se alisó la superficie.
- Inmediatamente después del moldeo y el enrasado de la superficie, los especímenes se almacenaron por un periodo de 24 horas en un ambiente que prevenga la pérdida de humedad de los especímenes, para posteriormente desmoldar las probetas de concreto.
- Y por último se pone a curar las briquetas sumergiéndolas en agua por 28 días.



Figura 44: Curado de briquetas.

Fuente: Elaboración propia

3.5.7. Ensayo de resistencia a la compresión.

a) Equipos.

- Máquina universal de compresión axial.
- Regla (cm).
- Wincha (m).
- Brocha
- Neopreno.
- Briquetas.

b) Procedimiento

- Se tomaron como testigos para el ensayo de compresión uniaxial a los especímenes cilíndricos (briquetas) elaborados con concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ patrón y añadido con diferentes cantidades de fibras sintéticas, dichos especímenes tuvieron dimensiones de (15x30cm).
- Se procedió a medir el diámetro de los especímenes cilíndricos en los extremos del mismo y pesarlos, se tomó dos anotaciones por cada lado, obteniéndose así 2 lecturas del diámetro para posteriormente promediarlas y hallar el área de contacto.



Figura 45: Pesado de briqueta y medida de diámetros.

Fuente: Elaboración propia.

- Se colocó los cabezales con neopreno a cada extremo de los especímenes, esto con el fin de uniformizar la carga en las superficies de contacto de la probeta, ya que esta podría presentar irregularidades en su textura que podrían variar los resultados.
- Se procedió al montaje de los especímenes en la prensa de compresión del laboratorio (equipo universal), y se realizó el ensayo, que consiste en esforzar los especímenes hasta que se produzca la falla de los mismos según la norma ASTM C-39.



Figura 46: Rotura de briquetas en la máquina de compresión uniaxial.

Fuente: Elaboración propia.

c) Toma de datos.

Tabla 32: Ficha de recolección de datos para ensayo de resistencia a la compresión de concreto patrón.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F’C = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F’C = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019.”							
Resistencia a la compresión (norma ASTM C-39)							
Concreto patrón							
Briqueta	Carga (kg)	Peso de la briqueta (kg)	Dp (cm)	Hp (cm)	F (Hp/Dp)	Área (cm ²)	Resistencia Última (kg/cm ²)
1	48717.1872	12.134	15.2	30.24			
2	47896.3287	12.40	15	30.3			
3	42099.3342	12.09	14.7	30.12			
4	51971.0499	13.18	15.5	29.85			
5	56361.8781	12.88	15.5	29.58			
6	52804.1448	12.08	15.2	30.15			
7	53212.0248	12.63	15.4	30.32			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33: Ficha de recolección de datos para ensayo de resistencia a la compresión de concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM ² Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² ADICIONADO CON 0.6 KG/M ³ Y 1.0 KG/M ³ DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."							
Resistencia a la compresión (norma ASTM C-39)							
Concreto adicionado con 0.6 kg/m ³ de fibras sintéticas.							
Briqueta	Carga (kg)	Peso de la briqueta (kg)	Dp (cm)	Hp (cm)	F (Hp/Dp)	Área (cm ²)	Resistencia Última (kg/cm ²)
1	57247.9974	12.914	15.1	30.24			
2	52702.1748	12.23	15.2	30.3			
3	52234.1325	12.40	15.2	30.12			
4	54307.1826	12.21	14.9	29.85			
5	52466.6241	12.37	14.9	29.58			
6	47194.7751	12.23	14.9	30.15			
7	53901.342	12.43	15.1	30.32			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34: Ficha de recolección de datos para ensayo de resistencia a la compresión de concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM ² Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² ADICIONADO CON 0.6 KG/M ³ Y 1.0 KG/M ³ DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."							
Resistencia a la compresión (norma ASTM C-39)							
Concreto adicionado con 1.0 kg/m ³ de fibras sintéticas.							
Briqueta	Carga (kg)	Peso de la briqueta (kg)	Dp (cm)	Hp (cm)	F (Hp/Dp)	Área (cm ²)	Resistencia Última (kg/cm ²)
1	55339.119	12.144	15.2	30.24			
2	53664.7716	12.14	14.9	30.3			
3	55788.8067	12.21	14.9	30.12			
4	55617.4971	12.24	14.8	29.85			
5	59542.3224	12.39	15.1	29.58			
6	57326.5143	12.78	15.2	30.15			
7	55973.3724	12.63	14.9	30.32			

Fuente: Elaboración propia.



3.5.8. Ensayo de módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad y la resistencia pueden ser obtenidos en la misma carga suministrada, aun cuando los deformímetros sean prescindibles, removibles o adecuadamente protegidos para cumplir con los requerimientos de carga continúa dados en el Método de Ensayo C 39. En este caso, registrar varias lecturas y determinar el valor de la deformación al 40 % de la carga última por interpolación (ASTM C-469).

Si se toman lecturas intermedias, dibujar los resultados de cada una de los tres ensayos con la deformación longitudinal en las abscisas y el esfuerzo de compresión en las ordenadas. Calcúlese el esfuerzo de compresión dividiendo el valor de la carga en la máquina de ensayo por el área de la sección transversal de la muestra (ASTM C-469).

a) Equipos.

- Máquina universal de compresión axial.
- Regla (cm).
- Wincha (m).
- Brocha
- Neopreno.
- Nivel de mano.
- Defomímetro (s).
- Anillos para briquetas.
- Briquetas.

b) Procedimiento

- Tomar las medidas de los diámetros, alturas y pesos de los especímenes.
- Colocar los anillos al espécimen de concreto, con la ayuda de un nivel de mano hacer que quede bien nivelado, para la instalación correcta del dial (deformímetro).



Figura 47: Colocación y nivelación del compresometro.

Fuente: Elaboración propia.

- Medir las siguientes distancias: del pivote hacia el eje de la briqueta, asimismo de este eje hacia el deformímetro.



Figura 48: Medición de distancias del eje al pivote y del eje al deformímetro.

Fuente: Elaboración propia.

- Con la máquina universal aplicar cargas a la briqueta.



Figura 49: Aplicación de carga a la briqueta.

Fuente: Elaboración propia.

- Realizar una grabación simultanea de la deformación que ocurre en la briqueta y la aplicación de carga para tomar los datos necesarios a las 50 millonésimas de deformación y al 40% de carga que soporta la briqueta.

c) Toma de datos.

Tabla 35: Ficha de recolección de datos para ensayo de módulo de elasticidad de concreto patrón.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO - 2019."	
Módulo de elasticidad (norma ASTM C-469)	
Concreto patrón	
Briqueta n° : P1	
Fecha de vaciado: 13/04/2019	
Fecha de rotura: 11/05/2019	
Edad: 28 DÍAS	
ALTURA H= 30.24 cm	DIÁMETRO D= 15.2 cm
Area= 181.458392 cm ²	
RESISTENCIA ÚLTIMA f _{c_u} = 268.4758018 kg/cm ²	
Conversión para la lectura del deformímetro: 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m	
<p>d= desp. debido a la defor. del espec. r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote. a= localización del deformímetro. b= punto de soporte del anillo rotativo. c= localización de la barra pivote. g= lectura del deformímetro.</p> $d = \frac{g * er}{er + eg}$	

Briqueta n° : P2
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 30.3 cm	D= 15 cm

Area= 176.7146 cm²
RESISTENCIA ÚLTIMA
 f_{c_u}= 271.4 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Briqueta n° : P3
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 30.12 cm	D= 15.5 cm

Area= 188.6919 cm²
RESISTENCIA ÚLTIMA
 f_{c_u}= 275.4442909 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Briqueta n° : P4
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 29.85 cm	D= 14.7 cm

Area= 169.72 cm²
RESISTENCIA ÚLTIMA
 f_{c_u}= 248.056537 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Briqueta n° : P5
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 29.58 cm	D= 15.5 cm

Area= 188.692 cm²
RESISTENCIA ÚLTIMA
 f_{c_u}= 298.6979064 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Briqueta n° : P6
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 30.15 cm	D= 15.2 cm

Area= 181.4584 cm²
RESISTENCIA ÚLTIMA
 f'c_u= 290.9986378 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Briqueta n° : P7
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 30.32 cm	D= 15.4 cm

Area= 186.265 cm²
RESISTENCIA ÚLTIMA
 f'c_u= 285.6571974 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36: Ficha de recolección de datos para ensayo de módulo de elasticidad de concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'c = 210 KG/CM ² Y UN CONCRETO F'c = 210 KG/CM ² ADICIONADO CON 0.6 KG/M ³ Y 1.0 KG/M ³ DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."						
Módulo de elasticidad (norma ASTM C-469)						
Concreto adicionado con 0.6 kg/m ³ de fibra sintética.						
Briqueta n° : F1 Fecha de vaciado: 13/04/2019 Fecha de rotura: 11/05/2019 Edad: 28 DÍAS	<table border="1"> <tr> <th>ALTURA</th> <th>DIÁMETRO</th> </tr> <tr> <td>H= 30.24 cm</td> <td>D= 15.3 cm</td> </tr> </table> <p>Area= 183.853856 cm² RESISTENCIA ÚLTIMA f'c_u= 286.480606 kg/cm²</p> <p>Conversión para la lectura del deformímetro: 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m</p>	ALTURA	DIÁMETRO	H= 30.24 cm	D= 15.3 cm	<p>$d = \frac{g * er}{er + eg}$</p> <p>d= desp. debido a la defor. del espec. r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote. a= localización del deformímetro. b= punto de soporte del anillo rotativo. c= localización de la barra pivote. g= lectura del deformímetro.</p>
ALTURA	DIÁMETRO					
H= 30.24 cm	D= 15.3 cm					

Briqueta n° : F2
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 30.3 cm	D= 15.2 cm

Area= 181.4584 cm²

RESISTENCIA ÚLTIMA
 f'c_u= 290.43669 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Briqueta n° : F3
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 30.12 cm	D= 15.3 cm

Area= 183.8538561 cm²

RESISTENCIA ÚLTIMA
 f'c_u= 284.1068097 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Briqueta n° : F4
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 29.85 cm	D= 15.2 cm

Area= 181.4584 cm²

RESISTENCIA ÚLTIMA
 f'c_u= 299.2817367 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Briqueta n° : F5
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 29.58 cm	D= 14.9 cm

Area= 174.366 cm²

RESISTENCIA ÚLTIMA
 f'c_u= 300.9 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Briqueta n° : F7
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 30.32 cm	D= 14.9 cm

Area= 174.3662 cm²
RESISTENCIA ÚLTIMA
 f'c_u= 270.66 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

$$d = \frac{g * er}{er + eg}$$

Briqueta n° : F7
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 30.15 cm	D= 14.9 cm

Area= 174.3662 cm²
RESISTENCIA ÚLTIMA
 f'c_u= 296.0275576 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

$$d = \frac{g * er}{er + eg}$$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37: Ficha de recolección de datos para ensayo de módulo de elasticidad de concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'c = 210 KG/CM ² Y UN CONCRETO F'c = 210 KG/CM ² ADICIONADO CON 0.6 KG/M ³ Y 1.0 KG/M ³ DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."						
Módulo de elasticidad (norma ASTM C-469)						
Concreto adcionado con 1.0 kg/m ³ de fibra sintetica.						
Briqueta n° : S1 Fecha de vaciado: 13/04/2019 Fecha de rotura: 11/05/2019 Edad: 28 DÍAS	<p>d= desp. debido a la defor. del espec. r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote. a= localización del deformímetro. b= punto de soporte del anillo rotativo. c= localización de la barra pivote. g= lectura del deformímetro.</p> $d = \frac{g * er}{er + eg}$					
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th>ALTURA</th> <th>DIÁMETRO</th> </tr> <tr> <td>H= 30.24 cm</td> <td>D= 15.2 cm</td> </tr> </table> <p>Area= 181.458392 cm² RESISTENCIA ÚLTIMA f'c_u= 304.97 kg/cm²</p> <p>Conversión para la lectura del deformímetro: 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m</p>	ALTURA	DIÁMETRO	H= 30.24 cm	D= 15.2 cm		
ALTURA	DIÁMETRO					
H= 30.24 cm	D= 15.2 cm					

Briqueta n° : S2
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 30.3 cm	D= 14.9 cm

Area= 174.3662463 cm²

RESISTENCIA ÚLTIMA
 f_{c_u}= 307.77 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Briqueta n° : S3
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 30.12 cm	D= 14.9 cm

Area= 174.3662 cm²

RESISTENCIA ÚLTIMA
 f_{c_u}= 319.95 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Briqueta n° : S4
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 DÍAS

ALTURA	DIÁMETRO
H= 29.85 cm	D= 14.8 cm

Area= 172.034 cm²

RESISTENCIA ÚLTIMA
 f_{c_u}= 323.29 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

$d = \frac{g * er}{er + eg}$

d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

Briqueta n° : S5

Fecha de vaciado: 13/04/2019

Fecha de rotura: 11/05/2019

Edad: 28 DÍAS

ALTURA
H= 29.58 cm

DIÁMETRO
D= 15.1 cm

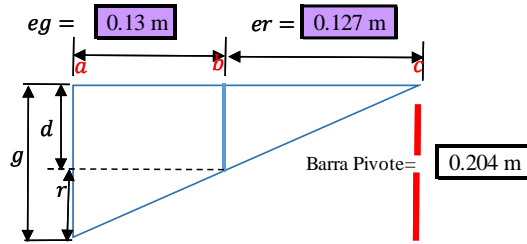
Area= 179.079 cm²

RESISTENCIA ÚLTIMA

f'c_u= 332.49 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:

1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m



d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

$$d = \frac{g * er}{er + eg}$$

Briqueta n° : S6

Fecha de vaciado: 13/04/2019

Fecha de rotura: 11/05/2019

Edad: 28 DÍAS

ALTURA
H= 30.15 cm

DIÁMETRO
D= 15.2 cm

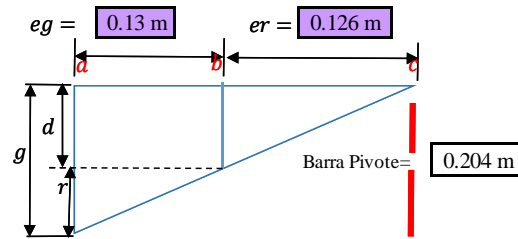
Area= 181.4584 cm²

RESISTENCIA ÚLTIMA

f'c_u= 315.92 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:

1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m



d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

$$d = \frac{g * er}{er + eg}$$

Briqueta n° : S7

Fecha de vaciado: 13/04/2019

Fecha de rotura: 11/05/2019

Edad: 28 DÍAS

ALTURA
H= 30.32 cm

DIÁMETRO
D= 14.9 cm

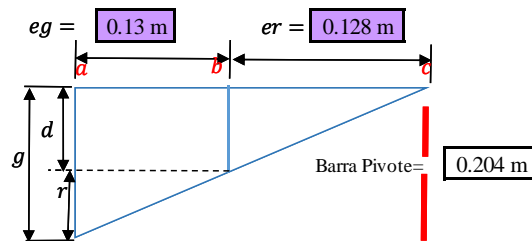
Area= 174.3662 cm²

RESISTENCIA ÚLTIMA

f'c_u= 321.01 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:

1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m



d= desp. debido a la defor. del espec.
 r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
 a= localización del deformímetro.
 b= punto de soporte del anillo rotativo.
 c= localización de la barra pivote.
 g= lectura del deformímetro.

$$d = \frac{g * er}{er + eg}$$

Fuente: Elaboración propia.



3.6. Procedimiento de análisis de datos.

3.6.1. Granulometría del agregado fino.

Para el procesamiento del análisis granulométrico del agregado fino se utilizará las siguientes formulas.

$$\%Retenido = \frac{P.R.}{P.T.} \times 100$$

Donde:

% Retenido = Porcentaje Retenido de material en el tamiz.

P.R. = Peso del material retenido en el tamiz (g).

P.T. = Peso total de la muestra (g).

Para el cálculo del porcentaje retenido acumulado, el primer retenido acumulado será igual al primer porcentaje retenido. Desde el segundo retenido acumulado se sumará el porcentaje retenido acumulado más el porcentaje retenido acumulado anterior y así sucesivamente hasta completar todas las mallas.

$$\%Retenido\ acumulado = \%Retenido + \%Retenido\ acumulado\ anterior$$

$$\%Que\ pasa = 100 - \%Retenido\ acumulado$$

$$Módulo\ de\ fineza = \frac{\sum \%Ret.\ acum.\ tamices\ (N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Donde:

$\sum\%Ret.$ = Sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices
(N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100).

Para los límites granulométricos usamos la tabla que nos proporciona la Norma Técnica Peruana 400.037

Tabla 38: Límites granulométricos para el agregado fino.

Tamiz estándar (apertura cuadrada)	Porcentaje que pasa
3/8" (9.51 mm)	100
Nº4 (4.75 mm)	95 a 100
Nº8 (2.38 mm)	80 a 100
Nº16 (1.19 mm)	50 a 85
Nº30 (0.595 mm)	25 a 60
Nº50 (0.297 mm)	5 a 30
Nº100 (0.148 mm)	0 a 10

Fuente: NTP 400.037

Tabla 39: Resultados del análisis granulométrico del agregado fino.

Malla		Peso (g) retenido	% Retenido parcial	Acumulado		Límites granulométricos NTP 400.037	
Tamiz	mm.			% Retenido	% que pasa	min	max
3/4"	19.05	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1/2"	12.7	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
3/8"	9.52	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
Nro. 4	4.75	75.30	3.27%	3.27%	96.73%	95%	100%
Nro.8	2.36	344.20	14.97%	18.24%	81.76%	80%	100%
Nro.16	1.18	394.70	17.16%	35.40%	64.60%	50%	85%
Nro. 30	0.6	650.10	28.27%	63.67%	36.33%	25%	60%
Nro.50	0.3	458.00	19.91%	83.58%	16.42%	5%	30%
Nro. 100	0.15	207.20	9.01%	92.59%	7.41%	0%	10%
Nro. 200	0.075	95.30	4.14%	96.73%	3.27%		
Fondo		75.1	3.27%	100.00%	0.00%		
Peso final(g)		2299.90	100.00%				

Módulo de fineza → **2.97**

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis granulométrico del agregado fino de la cantera del río Apurímac del distrito de Coporaque se puede observar que el módulo de fineza es de 2.97, valor que se encuentra dentro de los límites establecidos de 2.35 a 3.15 según la NTP 400.037, el cual nos indica que es una

arena media y es adecuado para el diseño de mezclas además se encuentra dentro de los límites granulométricos de la Norma Técnica Peruana 400.037 como se muestra a continuación en la figura 50.

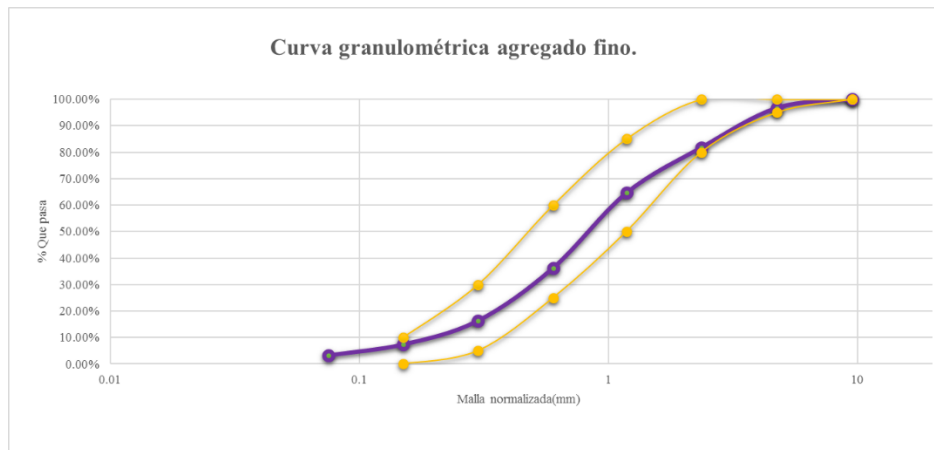


Figura 50: Curva granulométrica del agregado fino de la cantera del río Apurímac.

Fuente: Elaboración propia.

En este gráfico se puede apreciar que el agregado fino cumple con lo establecido por la Norma Técnica Peruana NTP 400.037, entonces determinamos que la granulometría de este es la adecuada.

3.6.2. Granulometría del agregado grueso.

Para el procesamiento del análisis granulométrico del agregado fino se utilizará las siguientes formulas.

$$\% \text{Retenido} = \frac{P.R.}{P.T.} \times 100$$

Donde:

% Retenido = Porcentaje Retenido de material en el tamiz.

P.R. = Peso del material retenido en el tamiz (g).

P.T. = Peso total de la muestra (g).

Para el cálculo del porcentaje retenido acumulado, el primer retenido acumulado será igual al primer porcentaje retenido. Desde el segundo retenido acumulado se sumará el porcentaje retenido acumulado más el porcentaje retenido acumulado anterior y así sucesivamente hasta completar todas las mallas.

$$\%Retenido\ acumulado = \%Retenido + \%Retenido\ acumulado\ anterior$$

$$\%Que\ pasa = 100 - \%Retenido\ acumulado$$

Para los límites granulométricos usamos la tabla que nos proporciona la NTP 400.037.

Se utilizará el huso número 56, por la distribución granulométrica (el tamaño máximo nominal del agregado de estudio se encuentra entre los tamaños de 1” a n°4), donde se muestra posteriormente la curva granulométrica, en el eje de las abscisas están ubicadas las aberturas de los tamices en milímetros y en escala logarítmica, en el eje de las ordenadas se ubican los porcentajes que pasan en escala aritmética.

Tabla 40: Límites máximos y mínimos de la gradación utilizada para el agregado grueso.

N	Tamaño	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados												
		4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16
1	3 1/2"a1 1/2"	100	90a100		25a60		0a15		0a5					
2	2 1/2"a1 1/2"			100	90a100	35a70	0a15		0a5					
3	2"a1"				100	90a100	35a70	0a15		0a5				
357	2"a #4				100	95a100		35a70		10a30		0a5		
4	1 1/2"a3/4 "					100	90a100	20a55	0a15		0a5			
467	1 1/2"a #4					100	95a100		35a70		10a30	0a5		
5	1"a1/2"						100	90a100	20a55	0a10	0a5			
56	1"a 3/8"						100	90a100	40a85	10a40	0a15	0a5		
57	1"a #4							90a100		25a60		0a10	0a5	
6	3/4"a3/8 "							100	90a100	20a55	0a15			
67	3/4"a #4							100	90a100		20a55	0a10	0a5	

Fuente: NTP 400.037

Tabla 41: Resultados del análisis granulométrico del agregado grueso.

Malla		Peso (g) retenido	% Retenido parcial	Acumulado		Límites granulométricos NTP 400.037	
Tamiz	mm.			% Retenido	% que Pasa	min	max
1"	25.4	256.00	6.40%	6.40%	93.60%	90%	100%
3/4"	19.05	1235.6	25.74%	25.74%	74.26%	40%	90%
1/2"	12.7	2586.7	53.90%	79.64%	20.36%	10%	45%
3/8"	9.52	585.5	12.20%	91.84%	8.16%	5%	15%
Nro. 4	4.75	123.5	2.57%	94.41%	5.59%	0%	5%
Fondo		12.2	0.25%	94.67%	5.33%		
Peso final(g)		4799.50	94.67%				

Fuente: Elaboración propia.

Tamaño máximo nominal	1"
Tamaño máximo	1 1/2"

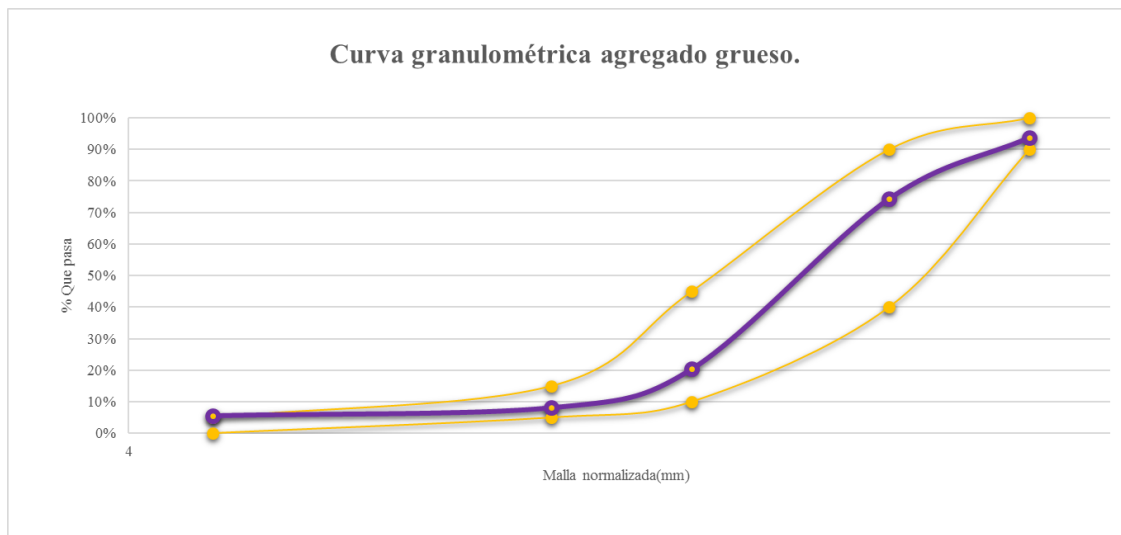


Figura 51: Curva granulométrica del agregado grueso de la cantera del río Apurímac.

Fuente: Elaboración propia.

En este gráfico se puede apreciar que el agregado grueso cumple con lo establecido por la NTP 400.037, entonces determinamos que la granulometría de este es la adecuada.

3.6.3. Peso unitario del agregado fino.

El cálculo del peso unitario del agregado fino se realizó con la siguiente fórmula.

$$P. U. = \frac{Pa}{Vm}$$

Donde:

P.U. = Peso unitario (kg/m³).

Pa = Peso del agregado (suelto o compactado, g).

Vm = Volumen de la muestra (m³).

Tabla 42: *Análisis de datos del ensayo de peso unitario del agregado fino.*

NÚMERO DE ENSAYO	E-1	E-2	E-3	
PESO DEL RECIPIENTE (kg)	6.68	6.68	6.68	
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	0.002127921	0.002127921	0.00212792	
PESO DEL MATERIAL + TARA SIN COMPACTAR (kg)	10.23	10.25	10.18	
PESO DEL MATERIAL SUELTO (kg)	3.55	3.57	3.5	
PESO DEL MATERIAL + TARA COMPACTADO (kg)	10.51	10.47	10.53	
PESO DEL MATERIAL COMPACTADO (kg)	3.83	3.79	3.85	PROMEDIO
PESO UNITARIO SUELTO (kg /m ³)	1668.30	1677.69	1644.80	1663.595619 Kg/m ³
PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m ³)	1799.88	1781.08	1809.28	1796.745927 Kg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4. Peso unitario del agregado grueso.

El cálculo del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso se realizará con la siguiente fórmula.

$$P. U. = \frac{Pa}{Vm}$$

Donde:

P.U. = Peso unitario (kg/m³).

Pa = Peso del agregado (suelto o compactado, g).

Vm = Volumen de la muestra (m³).

Tabla 43: Análisis de datos del ensayo de peso unitario del agregado grueso.

NÚMERO DE ENSAYO	E-1	E-2	E-3	
PESO DEL RECIPIENTE (kg)	6.68	6.68	6.68	
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m3)	0.002127921	0.002127921	0.00212792	
PESO DEL MATERIAL + TARA SIN COMPACTAR (kg)	9.97	10	9.91	
PESO DEL MATERIAL SUELTO (kg)	3.29	3.32	3.23	
PESO DEL MATERIAL + TARA COMPACTADO (kg)	10.42	10.46	10.39	
PESO DEL MATERIAL COMPACTADO (kg)	3.74	3.78	3.71	PROMEDIO
PESO UNITARIO SUELTO (kg /m3)	1546.11	1560.21	1517.91	1541.41063 Kg/m3
PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m3)	1757.58	1776.38	1743.49	1759.150546 Kg/m3

Fuente: Elaboración propia.

3.6.5. Peso específico y absorción del agregado fino.

Para el cálculo del peso específico de la masa y absorción del agregado fino se utilizaron las siguientes fórmulas.

$$P.E.M. = \frac{A}{B + S - C}$$

Donde:

P.E.M. = Peso específico de la muestra (kg/m3).

B = Peso de la fiola con agua (g).

C = Peso de la muestra superficialmente seca más el peso de la fiola y el peso del agua introducido en la fiola hasta la marca delimitada (g).

S = Peso de la muestra superficialmente seca (g).

$$\% Abs. = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Donde:

% Abs. = Porcentaje de absorción.

A = Peso de la muestra seca (g).

S = Peso de la muestra superficialmente seca (g).

Tabla 44: Análisis de datos del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.

NÚMERO DE ENSAYO	E-1	E-2	
PESO DE LA MUESTRA S.S.S. (g)	500	500	
PESO DEL BALÓN SECO (g)	150.3	150.3	
PESO DEL BALÓN + AGUA (g)	649.2	648.2	
PESO S.S.S. + BALÓN + AGUA (g)	967.3	966.2	
PESO DE LA TARA (g)	80.5	82.7	
PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (g)	565.1	564	
PESO DE LA MUESTRA SECA (g)	493.1	481.3	
PESO ESPECÍFICO (PE)	2.71	2.64	2.68
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (PESSS)	2.75	2.75	2.75
PESO ESPECÍFICO APERENTE (Pea)	2.82	2.95	2.88
ABSORCIÓN (ABS) %	1.40%	3.89%	2.64%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del peso específico de la masa, así como también el porcentaje de absorción del agregado fino, se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma ASTM, su valor para agregados normales oscila entre 2500 y 2750 Kg/m³ (Pasquel, 1992), por lo cual es factible su utilización en la mezcla de concretos.

3.6.6. Peso específico y absorción del agregado grueso.

Para el cálculo del peso específico de la masa y absorción del agregado fino se utilizarán las siguientes fórmulas.

Para el cálculo del peso específico de la masa saturada y con superficie seca y absorción del agregado grueso se utilizarán las siguientes fórmulas.

$$P.E.M. = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

P.E.M. = Peso específico de la muestra (kg/m³).

A = Peso de la muestra seca (g).

B = Peso de la muestra superficialmente seca (g).

C = Peso de la muestra superficialmente seca sumergida en agua (g).

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



Donde:

% Abs. = Porcentaje de absorción.

A = Peso de la muestra seca (g).

B = Peso de la muestra superficialmente seca (g).

Tabla 45: *Análisis de datos del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.*

NÚMERO DE ENSAYO	E-1	E-2	
PESO DE LA MUESTRA S.S.S. (g)	3201.4	3909.3	
PESO DE LA MUESTRA S.S.S. EN AGUA (g)	2026.6	2467.1	
PESO DE LA TARA (g)	397.9	662.7	
PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (g)	3570.5	4536.7	
PESO DE LA MUESTRA SECA (g)	3172.6	3874	PROMEDIO
PESO ESPECÍFICO (PE)	2.70	2.69	2.69
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (PESSS)	2.73	2.71	2.72
PESO ESPECÍFICO APARENTE (Pae)	2.77	2.75	2.76
ABSORCIÓN (ABS) %	0.908%	0.911%	1%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del peso específico de la masa, así como también el porcentaje de absorción del agregado grueso, están dentro de los parámetros establecidos por la norma ASTM, su valor para agregados normales oscila entre 2500 y 2750 Kg/m³ (Pasquel, 1992), por lo cual es factible su utilización en la mezcla de concretos.

3.6.7. Cálculo de humedad agregado fino.

Para el cálculo del contenido de humedad agregado fino se utilizará las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{PH - PS}{PS}$$

Donde:

% de humedad. = Porcentaje de humedad de la muestra.

PH = Peso de la muestra húmeda (g).

PS = Peso de la muestra seca (g).

Tabla 46: *Análisis de datos del ensayo de humedad natural del agregado fino.*

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del recipiente (g)	15.43	15.37	15.62
Muestra húmeda +recipiente (gr)	64.43	54.63	66.12
Muestra seca +recipiente (g)	63.21	53.56	64.78
Contenido de humedad	2.55%	2.80%	2.73%
% Humedad Promedio	2.69%		

Fuente: Elaboración propia.

3.6.8. Cálculo de humedad agregado grueso.

Para el cálculo del contenido de humedad agregado fino se utilizará las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{PH - PS}{PS}$$

Donde:

% de humedad. = Porcentaje de humedad de la muestra.

PH = Peso de la muestra húmeda (g).

PS = Peso de la muestra seca (g).

Tabla 47: *Análisis de datos del ensayo de humedad natural del agregado fino.*

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del recipiente (g)	15.37	15.39	15.42
Muestra húmeda +recipiente (gr)	44.31	47.36	43.45
Muestra seca +recipiente (g)	43.29	46.31	42.58
Contenido de humedad	3.65%	3.40%	3.20%
% Humedad Promedio	3.42%		

Fuente: Elaboración propia.

3.6.9. Diseño de mezcla para un concreto de calidad de diseño de 210 kg/cm² por el método del comité 211 del ACI.

a) Materiales para el diseño

- Cemento: Frontero tipo IP, peso específico: 2.85 kg/cm³.
- Agua: Potable, provista de la red pública de la ciudad de Yauri - Espinar.
- Agregado fino: Cantera del río Apurímac.
- Agregado grueso: Cantera del río Apurímac.

Tabla 48: *Características del agregado fino.*

Agregado fino	
Peso unitario suelto (kg /m ³)	1663.60
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1796.75
Peso específico (PE)	2.75
Contenido de humedad %	2.69
Absorción (ABS) %	2.64%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49: *Características del agregado fino.*

Agregado grueso	
Peso unitario suelto (kg /m ³)	1541.41
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1759.15
Peso específico (PE)	2.72
Contenido de humedad %	3.42
Absorción (ABS) %	0.91%

Fuente: Elaboración propia.

b) Procedimiento del diseño.

- **Determinando el slump.**

Para la determinación del slump consideramos dos criterios:

Slump para diversos tipos de estructuras, como el concreto que diseñamos será aplicado para estructuras de pavimento, entonces la elección del slump será según la tabla 50.

Tabla 50: Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.

Slump para diversos tipos de estructuras.		
Tipo de estructura	Slump maximo	Slump minimo
Zapatas y muros de cimentacion reforzados	3"	1"
Cimentacion simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclopeo	2"	1"

Fuente: Rivva López.

Entonces el slump recomendado es 4''-2'' para columnas y vigas en edificaciones.

Slump según la consolidación del concreto; queremos que nuestro concreto cuente con una consistencia plástica entonces para determinar el slump revisaremos la tabla 51.

Tabla 51: Consolidación del concreto.

Consistencia requerida del concreto.		
Consistencia	Asentamiento	
Seca	2"	0"
Plástica	4"	3"
Fluida	$\geq 5''$	-----

Fuente: Rivva López

Entonces el slump recomendado es 3''-4'', por lo tanto, tomaremos como slump de diseño 4''.

- **Determinando la resistencia a la compresión promedio (f'_{cr}).**

Tomando en cuenta que no se conoce la desviación estándar de valores anteriores de resistencia a la compresión de concretos diseñado con las mismas características, revisaremos la tabla 52 que nos brinda la norma E 060 para determinar la resistencia promedio requerida, la cual se usara para diseñar el concreto.

Tabla 52: Resistencia a la compresión promedio.

f_c (kg/cm ²)	f'_{cr}
Menos de 210	f'_c+70
210 a 350	f'_c+85
Mayor a 350	f'_c+98

Fuente: Rivva López

Esta tabla nos indica que para una resistencia de 210 kg/cm² deberíamos incrementar 85 a la resistencia de diseño como factor de seguridad, por lo que, la resistencia con que se trabajará será de 295 kg/cm².

$$f'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 85 = 295 \text{ kg/cm}^2.$$

- **Determinando el requerimiento aproximado de agua de mezclado.**

Para determinar el requerimiento aproximado de agua de mezclado en el concreto debemos revisar la siguiente tabla:

Tabla 53: Requerimientos aproximados de agua de mezclado.

Cantidad aproximada de agua para amasado (lt/m ³).								
Slump	Tamaño máximo de agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	170	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
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	---

Fuente: Rivva López

De acuerdo a esta tabla, se determina que el volumen unitario de agua, o agua de diseño necesario para elaborar una mezcla de concreto con un asentamiento de 3" a 4", en una mezcla con aire incorporado, cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 1" por lo tanto el volumen unitario es de 193 lt/m³.

- **Cálculo del volumen absoluto de cemento.**

Primero determinamos la relación agua/cemento, para lo cual revisaremos la siguiente tabla:

Tabla 54: *Relación agua cemento vs resistencia del concreto.*

Relación agua/ cemento vs resistencia requerida del concreto.		
f'cr a 28 días (kg/cm ²)	Relación agua/cemento en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Fuente: Pasquel Carbajal

Para la relación agua cemento se necesita como dato la resistencia promedio que está en el rango de 250 y 300 kg/cm² lo cual se realizara una interpolación.

	Interpolando:	
300	→	0.55
295	→	A/C
250	→	0.62
A/C =	0.557	

El factor cemento estará dado por el cociente del volumen unitario de agua sobre la relación agua cemento.

$$FC = \frac{V_{ua}}{\text{Relación A/C}}$$

Donde:

FC = Factor cemento.

V_{ua} = Volumen unitario del agua (kg/m³).

Relación A/C = Relación agua – cemento.

De resultados anteriores tenemos que:

- Agua=193 kg/m³
- A/C= 0.56

Entonces:

$$193/0.56 = 345.63 \text{ kg/m}^3 = 8.13 \text{ bolsas/m}^3.$$



El volumen de cemento absoluto será calculado como:

$$VC = \frac{FC}{Pec}$$

Donde:

VC = Volumen del cemento (m3).

FC = Factor cemento (kg/m3).

Pec = Peso específico del concreto (kg/m3).

Entonces:

$$\text{Volumen del concreto} = 345.63 / 2850 = 0.12 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del porcentaje de aire en volumen.**

Para determinar el porcentaje de aire en volumen debemos revisar la tabla 55 teniendo en cuenta que nuestro diseño es sin aire incorporado.

Tabla 55: *Porcentaje de aire atrapado en el concreto.*

Porcentaje de aire atrapado.								
Concreto sin aire incorporado.								
T. maximo de A°G° (")	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Aire atrapado (%)	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.30	0.20
Concreto con aire incorporado.								
T. maximo de A°G° (")	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Grado de exposicion								
Normal	4.50	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00
Moderada	8.00	5.50	5.00	4.50	4.50	4.00	3.50	3.00
Extrema	7.50	7.00	6.00	6.00	5.50	5.00	4.50	4.00

Fuente: Rivva López

Para nuestro caso el TMN: 1'' Entonces el contenido de aire es 1.5% = 0.015 m3.

- **Cálculo del volumen absoluto del agregado grueso.**

Para el contenido de agregado grueso, se necesita el tamaño máximo nominal y el módulo de finiza del agregado fino se deberá verificar en la tabla 56.

De las características de los materiales tenemos:

- T. máximo nominal del agregado grueso = 1''
- Módulo de fineza del agregado fino=2.97

Tabla 56: Volumen de agregado, grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza de agregado fino.

Volumen del agregado grueso compactado.				
Volumen de A°G° compactado en seco.				
Tamaño máximo nominal A.G	Modulo de fineza de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.79	0.78	0.75
4"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Pasquel Carbajal

Con módulo de fineza de 2.97 y un tamaño nominal del agregado grueso de 1" interpolamos:

$$2.80 \longrightarrow 0.67$$

$$2.97 \longrightarrow X$$

$$3.00 \longrightarrow 0.65$$

$$X = 0.653$$

Volumen del agregado grueso compactado seco:	0.653 m3
--	----------

De los datos de laboratorio tenemos que:

$$\frac{Vol\ AG * PUS\ AG}{PE\ AG}$$

Donde:

Vol AG = Volumen del agregado grueso (m3)

PUS AG = Peso unitario seco del agregado grueso (kg/m3).

PE AG = Peso específico del agregado grueso(kg/m3).

Entonces:

$$0.653 * 1541.41 / 2720 = 0.37\ m3$$

El volumen absoluto del agregado grueso (piedra chancada) es de 0.37 m³.

- **Cálculo del volumen absoluto del agregado fino.**

El volumen absoluto de agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos.

Tabla 57: *Volúmenes calculados.*

	Volumenes calculados (m ³)
Volumen de agua	0.193
Volumen de cemento	0.12
Volumen de aire	0.015
Volumen del agregado grueso	0.37
	0.698

Fuente: Elaboración propia.

Volumen absoluto de agregado fino = 1m³ – 0.698m³ = 0.302 m³.

- **Cálculo de pesos de los materiales.**

El peso de los materiales será igual a su volumen absoluto, multiplicado por su peso sólido (peso específico).

Tabla 58: *Pesos de los materiales.*

Elemento	Volumen absoluto (m ³)	Peso específico (kg/m ³)	Peso (kg)
Volumen de agua	0.193	1000	193
Volumen de cemento	0.12	2850	342
Volumen del aire	0.015	0	0
Volumen del agregado grueso	0.37	2720	1006.4
Volumen del agregado fino	0.302	2750	830.5
	1		2371.9

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo del peso del agua final.**

El peso final de agua será aquel que se descontará la cantidad de agua contribuida por los agregados (piedra y arena) del agua calculada en el paso 2.

$$\text{Peso corregido(kg)} = (\text{Contenido de humedad } \%) (\text{Peso, kg})$$

$$\text{Contribución de agua(kg)} = (\text{Peso corregido, kg}) (\text{Balance } \%)$$

Tabla 59: Corrección por humedad de los agregados.

Corrección por humedad y absorción.					
	Humed. (%)	Absor. (%)	Pesará (kg) $a = \text{Peso kg} \left(\frac{\% \text{ Hum}}{100} + 1 \right)$	Balance de agua $b = \left(\frac{\% \text{ Hum}}{100} - \frac{\% \text{ ABS.}}{100} \right)$	Contribución de agua (kg)
Piedra humeda	3.42	0.91	1040.82	0.0251	26.125
Arena humeda	2.69	2.64	852.84	0.0005	0.426

Fuente: Elaboración propia.

$$W_{\text{Agua final}} = (W_{\text{Agua calcul.}}) - (W_{\text{Cont. de agua total}})$$

Donde:

$W_{\text{Agua final}}$ = Peso final calculado del agua (kg).

$W_{\text{Agua calcul}}$ = Peso de agua calculada (kg).

$W_{\text{Cont. de agua total}}$ = Peso del agua contenida en los agregados (kg).

Entonces:

$$W_{\text{Agua Final}} = 193.00 \text{ Kg} - 26.551 \text{ Kg}$$

$$W_{\text{Agua Final}} = 166.45 \text{ Kg.}$$

- **Valores de diseño final en peso y volumen.**

El diseño final para 1 m³ de concreto con las características propias de los materiales especificados es como muestra las tablas 60 y 61:

Tabla 60: *Proporción final de los materiales por peso.*

Elemento	Peso	Proporción
Cemento	342.00 Kg ó 8.0 bolsas	1.0
Arena	852.84 Kg	2.5
Piedra	1040.82 Kg	3.0
Agua	166.45 Kg	0.5
Total	2402.108 kg.	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61: *Proporción final de los materiales por volumen.*

Elemento	Volumen	Proporción
Cemento	0.120 m ³ ó 8.047 pies ³	1.0
Arena	0.513 m ³ ó 18.102 pies ³	2.2
Piedra	0.675 m ³ ó 23.843 pies ³	3.0
Agua	0.166 m ³	1.4

Fuente: Elaboración propia.

3.6.10. Resistencia a la compresión (ASTM C-39)

Para el cálculo de la resistencia a la compresión se tendrá que tomar la siguiente especificación.

Si el factor de corrección de la altura y el diámetro $F(H/D)$ es menor o igual a 1.75, el valor calculado de esfuerzo de debe multiplicar por el factor de corrección que se extrae de la siguiente tabla.

Tabla 62: *Factor de corrección H/D.*

H/D	Factor de corrección.
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Fuente: ASTM C 039

En nuestros datos obtenidos ninguna muestra tiene una relación H/D menor o igual 1.75, por lo cual no se realizó corrección alguna.

La resistencia a la compresión está dada por la siguiente expresión.

$$F'c = \frac{\text{Carga última}}{\text{Área de contacto}}$$

Donde:

$F'c$ = Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²).

Carga última = Fuerza última aplicada a la briqueta en el momento de rotura (kg).

Área de contacto = Área de la briqueta donde se aplica la fuerza (cm²).

Se empleó el criterio de Chauvenet como evaluación estadística de los resultados calculados de resistencia a la compresión del concreto, para descartar valores erróneos donde, además se calculó el coeficiente de variación, se verificó que este dentro de los parámetros permitidos que indica el INEI y por último se verificó que la desviación estándar se encuentre entre los rangos aceptables que se establece para los valores de dispersión en el control del concreto, como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 63: *Criterio de Chauvenet para rechazar una lectura.*

n	k_n	n	k_n	n	k_n
2	1.15	8	1.86	30	2.40
3	1.35	9	1.92	40	2.48
4	1.54	10	1.96	50	2.57
5	1.65	15	2.13	100	2.81
6	1.73	20	2.24	300	3.14
7	1.80	25	2.33	500	3.29
-		-		1000	3.48

Fuente: Antonio Abunahman.

En la tabla 63 se tiene para la presente investigación un n de 7 muestras y un K_n (criterio de rechazo de Chauvenet) de 1.80.

Tabla 64: *Clasificación del coeficiente de variación.*

Clasificación	Rango del coeficiente de variación (%)
Muy bueno	[0 , 5]
Bueno	[5 , 15]
Regular	[15 , 20]
Malo	[20 , 100]

Fuente: INEI Perú.

El coeficiente de variación hallado en la tabla 66 para un concreto patrón es de 6.1% que corresponde según el INEI en el rango de bueno; para el concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas se tiene un CV de 5.4% calculado en la tabla 67 y el concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas un CV de 3% como lo muestra la tabla 68, estos dos últimos clasificados como resultados muy buenos dentro de la tabla 64.

Tabla 65: *Valores de dispersión en el control del concreto.*

Dispersión total					
Clase de operación	Desviación estándar para diferentes grados de control (kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
Concreto en laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6

Fuente: Pasquel Carbajal.

La desviación estándar calculada es de 16.79 para el concreto patrón, 16.19 para el concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas y 9.4 en el concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de

fibras sintéticas, valores que, según Pasquel Carbajal, para un concreto elaborado en obra es excelente, como es el caso de la presente investigación.

a) Resistencia a la compresión del concreto patrón.



Tabla 66: *Cálculo de los valores de resistencia a la compresión del concreto patrón.*

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO - 2019."							
Resistencia a la compresión (norma ASTM C-39)							
Concreto patrón							
Briqueta	Carga (kg)	Peso de la briqueta (kg)	Dp (cm)	Hp (cm)	F (Hp/Dp)	Área (cm2)	Resistencia última (kg/cm2)
1	48717.1872	12.134	15.2	30.24	1.99	181.46	268.48
2	47896.3287	12.40	15	30.3	2.02	176.71	271.04
3	42099.3342	12.09	14.7	30.12	2.05	169.72	248.06
4	51971.0499	13.18	15.5	29.85	1.93	188.69	275.43
5	56361.8781	12.88	15.5	29.58	1.91	188.69	298.70
6	52804.1448	12.08	15.2	30.15	1.98	181.46	291.00
7	53212.0248	12.63	15.4	30.32	1.97	186.27	285.68
promedio							276.91
Criterio de Chauvenet							
Desviación estandar, S (kg/cm2)	Media, μ (kg/cm2)	Resistencia última (kg/cm2)	Xi - μ	Xi - μ < Kn * S	Kn * S		
16.79	276.91	268.48	8.43	8.43 < 30.21 ok	30.2131732		
16.79	276.91	271.04	5.87	5.87 < 30.21 ok	30.2131732		
16.79	276.91	248.06	28.85	28.85 < 30.21 ok	30.2131732		
16.79	276.91	275.43	1.48	1.48 < 30.21 ok	30.2131732		
16.79	276.91	298.70	21.79	21.79 < 30.21 ok	30.2131732		
16.79	276.91	291.00	14.09	14.09 < 30.21 ok	30.2131732		
16.79	276.91	285.68	8.77	8.77 < 30.21 ok	30.2131732		
CV(Coeficiente de variación)= 6.1 % → S * 100/μ							

Fuente: Elaboración propia.

b) Resistencia a la compresión del concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.

Tabla 67: *Cálculo de los valores de resistencia a la compresión del concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.*

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F’C = 210 KG/CM ² Y UN CONCRETO F’C = 210 KG/CM ² ADICIONADO CON 0.6 KG/M ³ Y 1.0 KG/M ³ DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019.”									
Resistencia a la compresión (norma ASTM C-39)									
Concreto adicionado con 0.6 kg/m ³ de fibras sintéticas.									
Briqueta	Carga (kg)	Peso de la briqueta (kg)	Dp (cm)	Hp (cm)	F (Hp/Dp)	Área (cm ²)	Resistencia última (kg/cm ²)		
1	57247.9974	12.914	15.1	30.24	2.00	179.08	319.68		
2	52702.1748	12.23	15.2	30.3	1.99	181.46	290.44		
3	52234.1325	12.40	15.2	30.12	1.98	181.46	287.86		
4	54307.1826	12.21	14.9	29.85	2.00	174.37	311.45		
5	52466.6241	12.37	14.9	29.58	1.99	174.37	300.90		
6	47194.7751	12.23	14.9	30.15	2.02	174.37	270.66		
7	53901.342	12.43	15.1	30.32	2.01	179.08	300.99		
							promedio	297.43	
Criterio de Chauvenet									
Desviación estandar, S (kg/cm ²)	Media, μ (kg/cm ²)	Resistencia última (kg/cm ²)	Xi - μ	Xi - μ < Kn * S	Kn * S				
16.19	297.43	319.68	22.25	22.25 < 29.15 ok	29.1489				
16.19	297.43	290.44	6.99	6.99 < 29.15 ok	29.1489				
16.19	297.43	287.86	9.57	9.57 < 29.15 ok	29.1489				
16.19	297.43	311.45	14.03	14.03 < 29.15 ok	29.1489				
16.19	297.43	300.90	3.47	3.47 < 29.15 ok	29.1489				
16.19	297.43	270.66	26.76	26.76 < 29.15 ok	29.1489				
16.19	297.43	300.99	3.57	3.57 < 29.15 ok	29.1489				
CV(Coeficiente de variación)= 5.4 % → S * 100/μ									

Fuente: Elaboración propia.

c) Resistencia a la compresión del concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.

Tabla 68: Cálculo de los valores de resistencia a la compresión del concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.

<div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL </div>							
“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F’C = 210 KG/CM ² Y UN CONCRETO F’C = 210 KG/CM ² ADICIONADO CON 0.6 KG/M ³ Y 1.0 KG/M ³ DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019.”							
Resistencia a la compresión (norma ASTM C-39)							
Concreto adicionado con 1.0 kg/m ³ de fibras sintéticas.							
Briqueta	Carga (kg)	Peso de la briqueta (kg)	Dp (cm)	Hp (cm)	F (Hp/Dp)	Área (cm ²)	Resistencia última (kg/cm ²)
1	55339.119	12.144	15.2	30.24	1.99	181.46	304.97
2	53664.7716	12.14	14.9	30.3	2.03	174.37	307.77
3	55788.8067	12.21	14.9	30.12	2.02	174.37	319.95
4	55617.4971	12.24	14.8	29.85	2.02	172.03	323.29
5	59542.3224	12.39	15.1	29.58	1.96	179.08	332.49
6	57326.5143	12.78	15.2	30.15	1.98	181.46	315.92
7	55973.3724	12.63	14.9	30.32	2.03	174.37	321.01
promedio							317.92
Criterio de Chauvenet							
Desviación estandar, S (kg/cm ²)	Media, μ (kg/cm ²)	Resistencia última (kg/cm ²)	Xi - μ	Xi - μ < Kn * S	Kn * S		
9.40	317.92	304.97	12.95	12.95 < 16.91 ok	16.912199		
9.40	317.92	307.77	10.15	10.15 < 16.91 ok	16.912199		
9.40	317.92	319.95	2.04	2.04 < 16.91 ok	16.912199		
9.40	317.92	323.29	5.38	5.38 < 16.91 ok	16.912199		
9.40	317.92	332.49	14.58	14.58 < 16.91 ok	16.912199		
9.40	317.92	315.92	1.99	1.99 < 16.91 ok	16.912199		
9.40	317.92	321.01	3.09	3.09 < 16.91 ok	16.912199		
CV(Coeficiente de variación)= 3 % → S * 100/μ							

Fuente: Elaboración propia.

3.6.11. Módulo de elasticidad del concreto (norma ASTM C-469).

Para el cálculo de la deformación longitudinal es importante haber tomado las mediciones de los laterales del deformímetro al eje de la briqueta, para de esta manera aplicando al Teorema de Tales calcular la deformación longitudinal exacta, ya que no es a la mitad del eje de la briqueta.

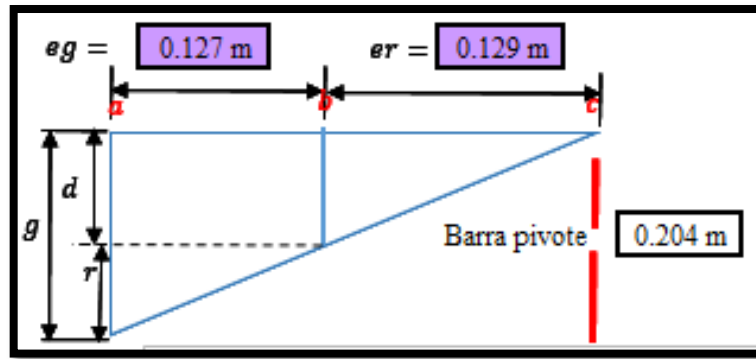


Figura 52: Cálculo de la deformación longitudinal para una determinada carga.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

d= Desplazamiento debido a la deformación del espécimen (m).

r= Desplazamiento debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote (m).

a= Localización del deformímetro.

b=Punto de soporte del anillo rotativo.

c=Localización de la barra pivote.

g= Lectura del deformímetro (m).

Para facilitar la lectura del deformímetro “g”, procedemos a leer la deformación longitudinal según al número de líneas que marca este equipo para luego realizar la siguiente conversión.

$$1 \text{ Línea} \longrightarrow 0.0001'' \longrightarrow 0.00000254\text{m}$$

Para calcular la deformación en el eje (d) se usará la siguiente fórmula, despejando del teorema de Tales:

$$d = \frac{g * er}{er + eg}$$

Donde:

d = Deformación en el eje (m).

g = Lectura del deformímetro (m).

er = Distancia del centro de la briquea a la barra pivote (m).

eg = Distancia del centro de la briquea al otro extremo (m).



Para el cálculo de la deformación unitaria (ε)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{d}{p}$$

Donde:

ε = Deformación unitaria.

d = Deformación en el eje (m).

p = Distancia de la barra pivote (m).

Posteriormente se determina el valor de la deformación al 40 % de la carga última por interpolación, así como la resistencia correspondiente para las 50 millonésimas de deformación unitaria también por interpolación.

Para el módulo de elasticidad se emplea la siguiente formula proporcionada por el ASTM C-469.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad secante (kg/cm²).

S_2 = Esfuerzo correspondiente al 40 % de la carga última (kg/cm²).

S_1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación a la deformación longitudinal, ε_1 , de 50 millonésimas (kg/cm²).

ε_2 = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo S_2 .

Además, se realizó el cálculo teórico del módulo de elasticidad según el RNE E060, como se detalla a continuación.

$$Ec = 1500\sqrt{f'c}$$

Donde:

Ec = Módulo de elasticidad (kg/cm²).

$f'c$ = Resistencia a la compresión (kg/cm²).

a) Cálculo del módulo de elasticidad para concreto patrón.

Para la determinación del módulo de elasticidad para cada testigo de concreto patrón se utiliza las fórmulas detalladas anteriormente, como se muestra en la hoja de cálculo.

Tabla 69: Cálculo de los valores del módulo de elasticidad del concreto patrón P1.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'c = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019.”

Módulo de elasticidad (norma ASTM C-469)

Concreto patrón

Briqueta n° : P1
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 días

Altura	Diámetro
H= 30.24 cm	D= 15.2 cm

Area= 181.458392 cm²

Resistencia última
f'c_u= 268.4758018 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

d= desp. debido a la defor. del espec.
r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
a= localización del deformímetro.
b= punto de soporte del anillo rotativo.
c= localización de la barra pivote.
g= lectura del deformímetro.

$$d = \frac{g * er}{er + eg}$$

Carga kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura del deformímetro en "lineas"	Lectura del deformímetro en "m" (g)	Deformación en el eje en "m" (d)	Deformación unitaria (ε)
3365.01	18.54	5	0.0000127 m	6.3251E-06 m	3.16E-05
4843.575	26.69	10	0.0000254	1.26502E-05	6.33E-05
7597.7847	41.87	20	0.0000508	2.53004E-05	1.27E-04
9881.9127	54.46	30	0.0000762	3.79506E-05	1.90E-04
12705.462	70.02	40	0.0001016	5.06008E-05	2.53E-04
15051.7917	82.95	50	0.000127	6.3251E-05	3.16E-04
17314.506	95.42	60	0.0001524	7.59012E-05	3.80E-04
19793.3967	109.08	70	0.0001778	8.85514E-05	4.43E-04
22494.582	123.97	80	0.0002032	0.000101202	5.06E-04
22494.582	123.97	90	0.0002286	0.000113852	5.69E-04
24248.466	133.63	100	0.000254	0.000126502	6.33E-04
26360.2647	145.27	120	0.0003048	0.000151802	7.59E-04
33119.856	182.52	140	0.0003556	0.000177103	8.86E-04
35640.5544	196.41	160	0.0004064	0.000202403	1.01E-03
41960.655	231.24	180	0.0004572	0.000227704	1.14E-03
44828.0514	247.04	200	0.000508	0.000253004	1.27E-03
47365.065	261.02	240	0.0006096	0.000303605	1.52E-03
48717.1872	268.48	280	0.0007112	0.000354205	1.77E-03
48717.1872	268.48	310	0.0007874	0.000392156	1.96E-03

(*) Interpolación de la def. unit. para el 40% de la resistencia última
S₂ (40%)= 107.39 kg/cm²

95.42 kg/cm² → 3.80E-04
107.4 kg/cm² → ε₂
109.1 kg/cm² → 4.43E-04
ε₂= 4.35E-04

() Interpolación de la resistencia para las 50 millonésimas de def. unit.**
3.16E-05 → 18.544 kg/cm²
5.00E-05 → S₁
6.33E-05 → 26.692 kg/cm²
S₁= 23.278 kg/cm²

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

S₁=23.3 kg/cm² ε₁= 0.000050
S₂=107.4 kg/cm² ε₂= 4.35E-04

MÓDULO DE ELASTICIDAD

E= 2.19E+05 kg/cm²

MÓDULO DE ELASTICIDAD NORMA E060

E= 2.46E+05

Fuente: Elaboración propia.

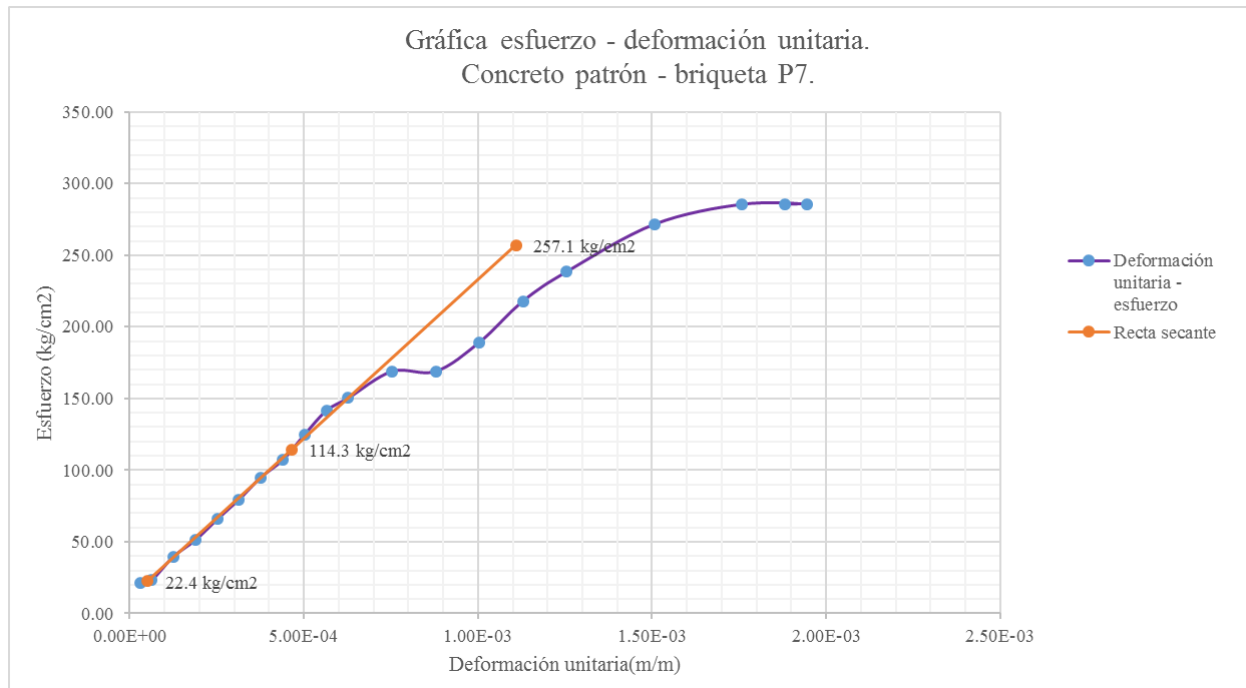


Figura 53: Gráfico esfuerzo – deformación unitaria del concreto patrón P1.

Fuente: Elaboración propia.

Las demás hojas de cálculo correspondientes a las briquetas ensayadas están adjuntas en el apéndice de anexos como: “Cálculo de los valores del módulo de elasticidad del concreto patrón.”

b) Cálculo del módulo de elasticidad para concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.

Para la determinación del módulo de elasticidad para cada testigo de concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas se utiliza las fórmulas detalladas anteriormente y como se muestra en la hoja de cálculo de la briqueta F2 a continuación; las demás hojas de cálculo correspondientes a cada briqueta ensayada y procesada se encuentran adjuntas en el apéndice de anexos como: “Cálculo de los valores del módulo de elasticidad del concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.”

Tabla 70: Cálculo de los valores del módulo de elasticidad del concreto adicionado con 0.6 kg/m3 de fibras sintéticas F2.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."

Módulo de elasticidad (norma ASTM C-469)

Concreto adicionado con 0.6 kg/m3 de fibra sintética.

Briqueta n° : F2
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 días

Altura	Diámetro
H= 30.24 cm	D= 15.3 cm

Area= 183.853856 cm2

Resistencia última
f'c_u= 286.480606 kg/cm2

Conversión para la lectura del deformímetro:
1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

d= desp. debido a la defor. del espec.
r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
a= localización del deformímetro.
b= punto de soporte del anillo rotativo.
c= localización de la barra pivote.
g= lectura del deformímetro.

$$d = \frac{g * er}{er + eg}$$

Carga kg	Esfuerzo kg/cm2	Lectura del deformímetro en "lineas"	Lectura del deformímetro en "m" (g)	Deformación en el eje en "m" (d)	Deformación unitaria (ε)	
23.3	2376.9207	12.93	5	0.0000127 m	6.3251E-06 m	3.11E-05
34.7	3533.2605	19.22	10	0.0000254	1.26502E-05	6.22E-05
65.3	6658.641	36.22	20	0.0000508	2.53004E-05	1.24E-04
84.3	8599.1301	46.77	30	0.0000762	3.79506E-05	1.86E-04
117	11879.505	64.61	40	0.0001016	5.06008E-05	2.49E-04
136	13888.314	75.54	50	0.000127	6.3251E-05	3.11E-04
155	15764.562	85.75	60	0.0001524	7.59012E-05	3.73E-04
183	18680.904	101.61	70	0.0001778	8.85514E-05	4.35E-04
208	21199.563	115.31	80	0.0002032	0.000101202	4.97E-04
227	23125.7763	125.78	90	0.0002286	0.000113852	5.59E-04
244	24860.286	135.22	100	0.000254	0.000126502	6.22E-04
297	30234.105	164.45	120	0.0003048	0.000151802	7.46E-04
345	35210.241	191.51	140	0.0003556	0.000177103	8.70E-04
372	37908.3672	206.19	160	0.0004064	0.000202403	9.95E-04
401	40938.9156	222.67	180	0.0004572	0.000227704	1.12E-03
436	44415.0729	241.58	200	0.000508	0.000253004	1.24E-03
472	48129.84	261.78	240	0.0006096	0.000303605	1.49E-03
510	52035.291	283.03	280	0.0007112	0.000354205	1.74E-03
517	52670.5641	286.48	320	0.0008128	0.000404806	1.99E-03
517	52670.5641	286.48	380	0.0009652	0.000480707	2.36E-03

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

S₁ = 16.8 kg/cm2 ε₁ = 0.000050
S₂ = 114.6 kg/cm2 ε₂ = 4.94E-04

MÓDULO DE ELASTICIDAD

E= 2.20E+05 kg/cm2

MÓDULO DE ELASTICIDAD NORMA E060

E= 2.54E+05

(*) Interpolación de la def. unit. para el 40% de la resistencia última
S₂ (40%) = 114.59 kg/cm2

101.6 kg/cm2 → 4.35E-04
114.6 kg/cm2 → ε₂
115.3 kg/cm2 → 4.97E-04
ε₂ = 4.94E-04

(**) Interpolación de la resistencia para las 50 millonésimas de def. unit.
3.11E-05 → 12.928 kg/cm2
5.00E-05 → S₁
6.22E-05 → 19.218 kg/cm2
S₁ = 16.757 kg/cm2

Fuente: Elaboración propia.

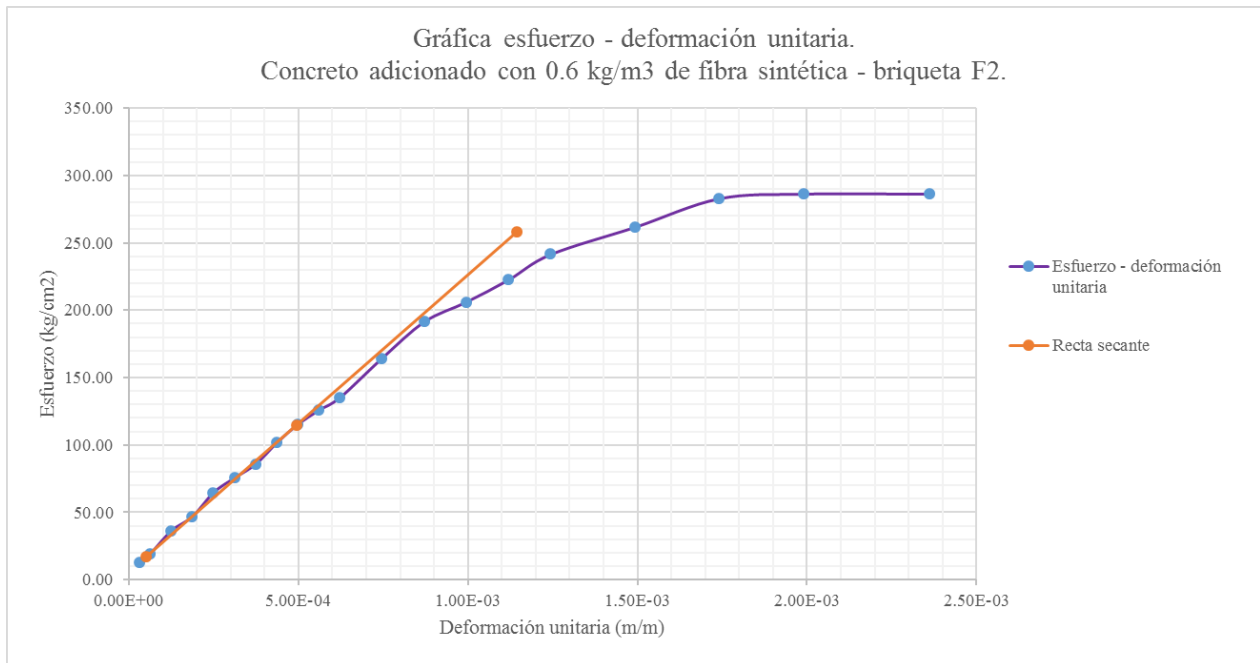


Figura 54: Gráfico esfuerzo – deformación unitaria del concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas F2.

Fuente: Elaboración propia.

c) Cálculo del módulo de elasticidad para concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.

Para la determinación del módulo de elasticidad para cada testigo de concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas se utiliza las formulas detalladas anteriormente y como se muestra en la hoja de cálculo de la briqueeta S1 a continuación; las demás hojas de cálculo correspondientes a cada briqueeta procesada se encuentran adjuntas en el apéndice de anexos como: “Cálculo de los valores del módulo de elasticidad del concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.”

Tabla 71: Cálculo de los valores del módulo de elasticidad del concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas S1.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM² Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM² ADICIONADO CON 0.6 KG/M³ Y 1.0 KG/M³ DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."

Módulo de elasticidad (norma ASTM C-469)

Concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibra sintética.

Briqueta n° : S1
Fecha de vaciado: 13/04/2019
Fecha de rotura: 11/05/2019
Edad: 28 días

Altura	Diámetro
H= 30.24 cm	D= 15.2 cm

Area= 181.458392 cm²

Resistencia última
f'c_u= 304.97 kg/cm²

Conversión para la lectura del deformímetro:
1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m

d= desp. debido a la defor. del espec.
r= desp. debido a la rotación del anillo alrededor de la barra del pivote.
a= localización del deformímetro.
b= punto de soporte del anillo rotativo.
c= localización de la barra pivote.
g= lectura del deformímetro.

$$d = \frac{g \cdot er}{er + eg}$$

Carga kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura del deformímetro en "líneas"	Lectura del deformímetro en "m" (g)	Deformación en el eje en "m" (d)	Deformación unitaria (ε)
2477.871	13.66	5	0.000127 m	6.3996E-06 m	3.14E-05
4955.742	27.31	10	0.000254	1.27992E-05	6.27E-05
7717.0896	42.53	20	0.000508	2.55984E-05	1.25E-04
10528.4025	58.02	30	0.000762	3.83977E-05	1.88E-04
13501.8477	74.41	40	0.001016	5.11969E-05	2.51E-04
16030.7037	88.34	50	0.00127	6.39961E-05	3.14E-04
18311.7726	100.91	60	0.001524	7.67953E-05	3.76E-04
21250.548	117.11	70	0.001778	8.95945E-05	4.39E-04
23439.8439	129.17	80	0.002032	0.000102394	5.02E-04
29302.0992	161.48	100	0.00254	0.000127992	6.27E-04
34193.6001	188.44	120	0.003048	0.000153591	7.53E-04
38624.1966	212.85	140	0.003556	0.000179189	8.78E-04
40848.1623	225.11	160	0.004064	0.000204788	1.00E-03
43985.7792	242.40	180	0.004572	0.000230386	1.13E-03
46925.5743	258.60	200	0.00508	0.000255984	1.25E-03
51026.8077	281.20	240	0.006096	0.000307181	1.51E-03
54284.7492	299.16	280	0.007112	0.000358378	1.76E-03
55303.4295	304.77	320	0.008128	0.000409575	2.01E-03
55339.119	304.97	420	0.010668	0.000537567	2.64E-03

(*) Interpolación de la def. unt. para el 40% de la resistencia última
S₂ (40%)= 121.99 kg/cm²

117.1 kg/cm² → 4.39E-04
122 kg/cm² → ε₂
129.2 kg/cm² → 5.02E-04
ε₂= 4.65E-04

() Interpolación de la resistencia para las 50 millonésimas de def. unit.**

3.14E-05 → 13.655 kg/cm²
5.00E-05 → S₁
6.27E-05 → 27.311 kg/cm²
S₁= 21.764 kg/cm²

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

S₁= 21.8 kg/cm² ε₁= 0.000050
S₂= 122.0 kg/cm² ε₂= 4.65E-04

MÓDULO DE ELASTICIDAD

E= 2.42E+05 kg/cm²

MÓDULO DE ELASTICIDAD NORMA E060

E= 2.62E+05

Fuente: Elaboración propia.

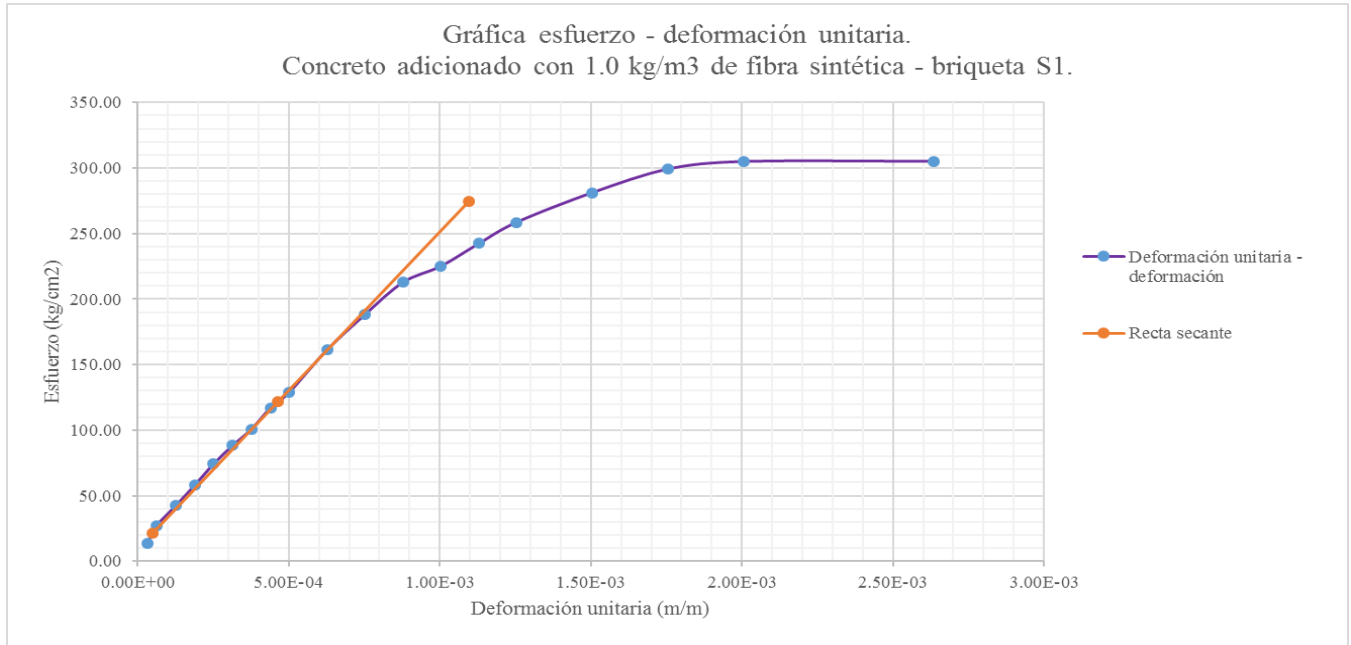


Figura 55: Gráfico esfuerzo – deformación unitaria del concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas S1.
Fuente: Elaboración propia.

3.6.12. Cálculo de la ductilidad (modelo de Kent y Park).

Para el cálculo de la ductilidad es necesario haber realizado el ensayo de módulo de elasticidad secante y realizar su curva correspondiente de esfuerzo – deformación unitaria, para luego aplicar el modelo planteado por Kent y Park para concreto no confinado.

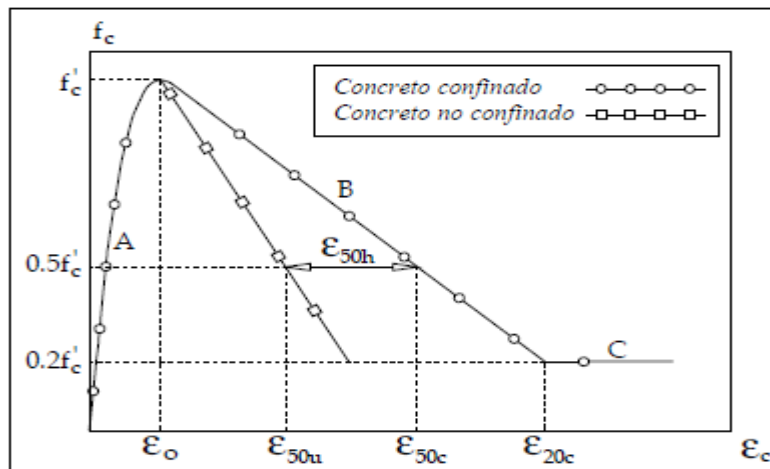


Figura 56: Comparación de curvas esfuerzo-deformación de un concreto simple y uno confinado.

Fuente: Kent y Park, 1971.



En la figura 56 se puede observar que para la curva del concreto no confinado, en la parte de la deformación plástica o inelástica del concreto, el modelo de Kent y Park detalla dos puntos: El primero (ϵ_{50u} , $0.5f'c$) donde se observa que en el eje de las abscisas se tiene una deformación unitaria ϵ_{50u} , y para el eje de las ordenadas el 50% de la resistencia a la compresión última y el segundo punto donde en el eje de las ordenadas se observa 20% de la resistencia a la compresión última y una deformación unitaria última, la cual se tiene que hallar para calcular la ductilidad del concreto.

Para el primer punto detallado anteriormente se cuenta con la siguiente expresión planteada por Kent y Park para este tramo de la gráfica:

$$\epsilon_{50u} = \frac{3 + \epsilon_0 * f'c}{f'c - 1000}$$

Donde:

ϵ_0 = Deformación unitaria asociada a la resistencia máxima a compresión de concreto $f'c$, (mm).

$f'c$ = Resistencia máxima a compresión del concreto, (tn/m²).

Este primer punto es hallado con la finalidad de conocer la ecuación de la recta que representa la deformación inelástica del concreto, esto es posible debido a que en el ensayo de módulo de elasticidad se logró graficar el punto donde en el eje de las abscisas se tiene la deformación ϵ_0 y en el eje de las ordenadas la resistencia máxima del concreto, como se observa en la figura, es así que teniendo dos puntos conocidos se llega a la ecuación de la recta para esta parte de la gráfica.

Por último, calcular el punto final que vendría a ser la deformación unitaria última en el eje de las abscisas necesario para calcular la ductilidad del concreto. Para el modelo planteado esto sucede cuando el concreto se degrada hasta el 20% de su resistencia alcanzada por lo tanto si se cuenta con un punto en las ordenadas este se puede reemplazar en la ecuación de la recta así hallamos el punto en el eje de las abscisas que vendría a ser la deformación última del concreto.

a) Cálculo de la ductilidad del concreto patrón.

A continuación, se detalla en la hoja Excel el procedimiento descrito anteriormente para el cálculo de la ductilidad:

Tabla 72: Cálculo de los valores de ductilidad del concreto patrón P6.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																																																																																																																		
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'c = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."																																																																																																																																			
Ductilidad																																																																																																																																			
Concreto patrón																																																																																																																																			
Briqueta n° : P6 Fecha de vaciado: 13/04/2019 Fecha de rotura: 11/05/2019 Edad: 28 días	$eg = 0.126 \text{ m}$ $er = 0.129 \text{ m}$																																																																																																																																		
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th>Altura</th> <th>Diametro</th> </tr> <tr> <td>H= 30.15 cm</td> <td>D= 15.2 cm</td> </tr> </table>	Altura	Diametro	H= 30.15 cm	D= 15.2 cm																																																																																																																															
Altura	Diametro																																																																																																																																		
H= 30.15 cm	D= 15.2 cm																																																																																																																																		
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>Area= 181.4583917 cm²</td> </tr> <tr> <th>Resistencia última</th> </tr> <tr> <td>f'c_u= 290.9986378 kg/cm²</td> </tr> </table>	Area= 181.4583917 cm ²	Resistencia última	f'c_u= 290.9986378 kg/cm ²																																																																																																																																
Area= 181.4583917 cm ²																																																																																																																																			
Resistencia última																																																																																																																																			
f'c_u= 290.9986378 kg/cm ²																																																																																																																																			
Conversión para la lectura del deformímetro: 1 línea → 0.0001" → 0.0000254 m																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Carga kg</th> <th>Esfuerzo kg/cm²</th> <th>Lectura del deformímetro en "líneas"</th> <th>Lectura del deformímetro en "m" (g)</th> <th>Deformación en el eje en "m" (d)</th> <th>Deformación unitaria (ε)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2844.963</td><td>15.68</td><td>5</td><td>0.0000127 m</td><td>6.42471E-06 m</td><td>3.21E-05</td></tr> <tr><td>3801.4416</td><td>20.95</td><td>10</td><td>0.0000254</td><td>1.28494E-05 m</td><td>6.42E-05</td></tr> <tr><td>6967.6101</td><td>38.40</td><td>20</td><td>0.0000508</td><td>2.56988E-05 m</td><td>1.28E-04</td></tr> <tr><td>9528.0768</td><td>52.51</td><td>30</td><td>0.0000762</td><td>3.85482E-05 m</td><td>1.93E-04</td></tr> <tr><td>12732.9939</td><td>70.17</td><td>40</td><td>0.0001016</td><td>5.13976E-05 m</td><td>2.57E-04</td></tr> <tr><td>14529.7053</td><td>80.07</td><td>50</td><td>0.000127</td><td>6.42471E-05 m</td><td>3.21E-04</td></tr> <tr><td>17082.0144</td><td>94.14</td><td>60</td><td>0.0001524</td><td>7.70965E-05 m</td><td>3.85E-04</td></tr> <tr><td>19119.375</td><td>105.37</td><td>70</td><td>0.0001778</td><td>8.99459E-05 m</td><td>4.50E-04</td></tr> <tr><td>22302.8784</td><td>122.91</td><td>80</td><td>0.0002032</td><td>0.000102795 m</td><td>5.14E-04</td></tr> <tr><td>24427.9332</td><td>134.62</td><td>90</td><td>0.0002286</td><td>0.000115645 m</td><td>5.78E-04</td></tr> <tr><td>26750.8098</td><td>147.42</td><td>100</td><td>0.000254</td><td>0.000128494 m</td><td>6.42E-04</td></tr> <tr><td>30863.2599</td><td>170.08</td><td>120</td><td>0.0003048</td><td>0.000154193 m</td><td>7.71E-04</td></tr> <tr><td>35118.468</td><td>193.53</td><td>140</td><td>0.0003556</td><td>0.000179892 m</td><td>8.99E-04</td></tr> <tr><td>38540.5812</td><td>212.39</td><td>160</td><td>0.0004064</td><td>0.000205591 m</td><td>1.03E-03</td></tr> <tr><td>41939.2413</td><td>231.12</td><td>180</td><td>0.0004572</td><td>0.000231289 m</td><td>1.16E-03</td></tr> <tr><td>45180.8676</td><td>248.99</td><td>200</td><td>0.000508</td><td>0.000256988 m</td><td>1.28E-03</td></tr> <tr><td>49767.4782</td><td>274.26</td><td>240</td><td>0.0006096</td><td>0.000308386 m</td><td>1.54E-03</td></tr> <tr><td>52584.9093</td><td>289.79</td><td>280</td><td>0.0007112</td><td>0.000359784 m</td><td>1.80E-03</td></tr> <tr><td>52804.1448</td><td>291.00</td><td>290</td><td>0.0007366</td><td>0.000372633 m</td><td>1.86E-03</td></tr> <tr><td>52804.1448</td><td>291.00</td><td>320</td><td>0.0008128</td><td>0.000411181 m</td><td>2.06E-03</td></tr> </tbody> </table>						Carga kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura del deformímetro en "líneas"	Lectura del deformímetro en "m" (g)	Deformación en el eje en "m" (d)	Deformación unitaria (ε)	2844.963	15.68	5	0.0000127 m	6.42471E-06 m	3.21E-05	3801.4416	20.95	10	0.0000254	1.28494E-05 m	6.42E-05	6967.6101	38.40	20	0.0000508	2.56988E-05 m	1.28E-04	9528.0768	52.51	30	0.0000762	3.85482E-05 m	1.93E-04	12732.9939	70.17	40	0.0001016	5.13976E-05 m	2.57E-04	14529.7053	80.07	50	0.000127	6.42471E-05 m	3.21E-04	17082.0144	94.14	60	0.0001524	7.70965E-05 m	3.85E-04	19119.375	105.37	70	0.0001778	8.99459E-05 m	4.50E-04	22302.8784	122.91	80	0.0002032	0.000102795 m	5.14E-04	24427.9332	134.62	90	0.0002286	0.000115645 m	5.78E-04	26750.8098	147.42	100	0.000254	0.000128494 m	6.42E-04	30863.2599	170.08	120	0.0003048	0.000154193 m	7.71E-04	35118.468	193.53	140	0.0003556	0.000179892 m	8.99E-04	38540.5812	212.39	160	0.0004064	0.000205591 m	1.03E-03	41939.2413	231.12	180	0.0004572	0.000231289 m	1.16E-03	45180.8676	248.99	200	0.000508	0.000256988 m	1.28E-03	49767.4782	274.26	240	0.0006096	0.000308386 m	1.54E-03	52584.9093	289.79	280	0.0007112	0.000359784 m	1.80E-03	52804.1448	291.00	290	0.0007366	0.000372633 m	1.86E-03	52804.1448	291.00	320	0.0008128	0.000411181 m	2.06E-03
Carga kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura del deformímetro en "líneas"	Lectura del deformímetro en "m" (g)	Deformación en el eje en "m" (d)	Deformación unitaria (ε)																																																																																																																														
2844.963	15.68	5	0.0000127 m	6.42471E-06 m	3.21E-05																																																																																																																														
3801.4416	20.95	10	0.0000254	1.28494E-05 m	6.42E-05																																																																																																																														
6967.6101	38.40	20	0.0000508	2.56988E-05 m	1.28E-04																																																																																																																														
9528.0768	52.51	30	0.0000762	3.85482E-05 m	1.93E-04																																																																																																																														
12732.9939	70.17	40	0.0001016	5.13976E-05 m	2.57E-04																																																																																																																														
14529.7053	80.07	50	0.000127	6.42471E-05 m	3.21E-04																																																																																																																														
17082.0144	94.14	60	0.0001524	7.70965E-05 m	3.85E-04																																																																																																																														
19119.375	105.37	70	0.0001778	8.99459E-05 m	4.50E-04																																																																																																																														
22302.8784	122.91	80	0.0002032	0.000102795 m	5.14E-04																																																																																																																														
24427.9332	134.62	90	0.0002286	0.000115645 m	5.78E-04																																																																																																																														
26750.8098	147.42	100	0.000254	0.000128494 m	6.42E-04																																																																																																																														
30863.2599	170.08	120	0.0003048	0.000154193 m	7.71E-04																																																																																																																														
35118.468	193.53	140	0.0003556	0.000179892 m	8.99E-04																																																																																																																														
38540.5812	212.39	160	0.0004064	0.000205591 m	1.03E-03																																																																																																																														
41939.2413	231.12	180	0.0004572	0.000231289 m	1.16E-03																																																																																																																														
45180.8676	248.99	200	0.000508	0.000256988 m	1.28E-03																																																																																																																														
49767.4782	274.26	240	0.0006096	0.000308386 m	1.54E-03																																																																																																																														
52584.9093	289.79	280	0.0007112	0.000359784 m	1.80E-03																																																																																																																														
52804.1448	291.00	290	0.0007366	0.000372633 m	1.86E-03																																																																																																																														
52804.1448	291.00	320	0.0008128	0.000411181 m	2.06E-03																																																																																																																														
DUCTILIDAD DEL CONCRETO	$\mu = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_0}$	DUCTILIDAD DEL CONCRETO $\mu = 3.06$																																																																																																																																	
Cálculo de puntos de la recta																																																																																																																																			
f'c = 291 kg/cm ² 0.5 f'c = 145.5 kg/cm ² 0.2 f'c = 58.2 kg/cm ²	$\epsilon_0 = 2.06E-03$ $\epsilon_{50u} = 4.70E-03$ $\epsilon_{um} = 6.29E-03$	Ecuación de la primera recta $y = -54967X + 404.01$																																																																																																																																	

Fuente: Elaboración propia

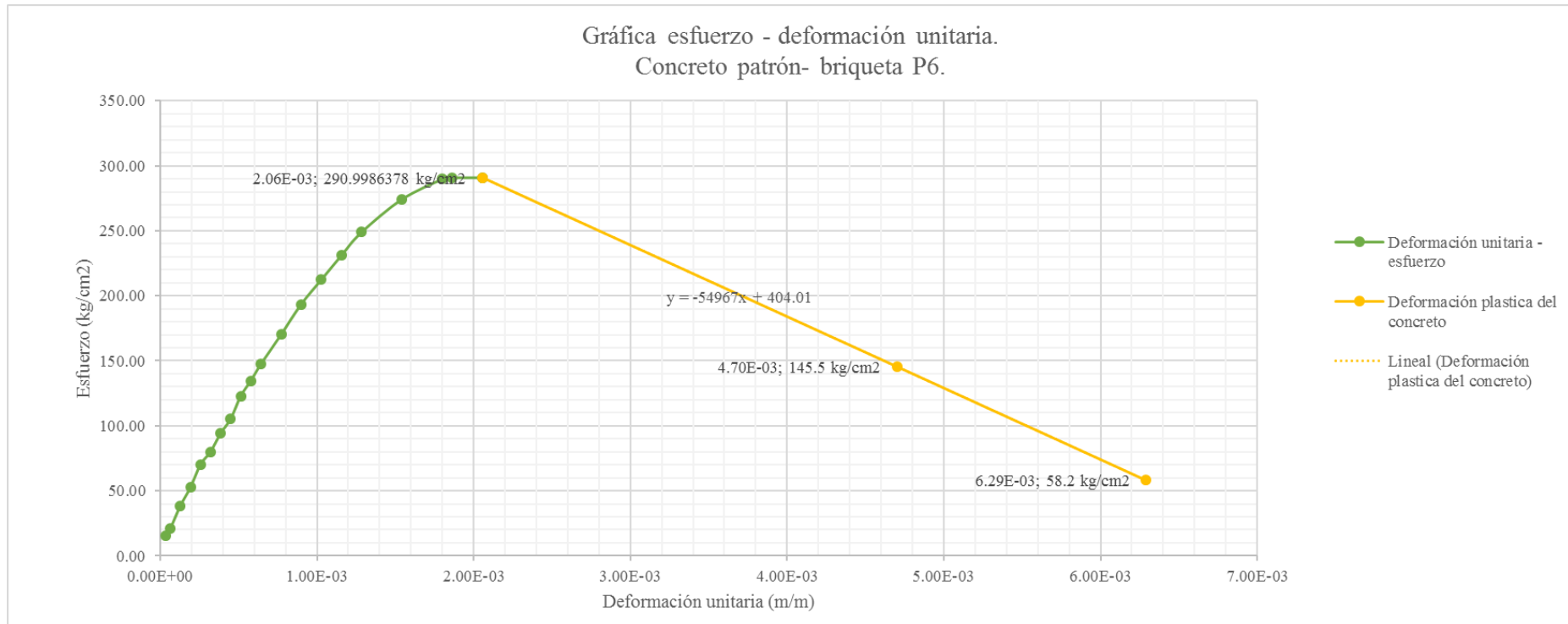


Figura 57: Gráfico esfuerzo – deformación unitaria del concreto patrón P1.

Fuente: Elaboración propia.



Las demás hojas de cálculo correspondientes a las briquetas ensayadas están adjuntas en el apéndice de anexos como: “Cálculo de los valores de ductilidad del concreto patrón.”

b) Cálculo de la ductilidad para concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.

Para la determinación de la ductilidad para cada testigo de concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas se utiliza las fórmulas y el procedimiento detallados anteriormente para calcular la primera recta que representa la deformación inelástica del concreto, seguidamente se verifica del ensayo de módulo de elasticidad las deformaciones alcanzadas para $f'c$ máximo de las briquetas elaboradas con concreto patrón y las briquetas adicionadas con fibras sintéticas. Se procede a sacar un promedio de dichas deformaciones, luego analizar su incremento porcentual para evaluar en cuanto mejoro el concreto como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 73: *Cálculo del promedio de los valores de las deformaciones unitarias ϵ_o para el concreto patrón.*

Briqueta	Deformación unitaria para $f'c$ max (m/m)
P1	1.96E-03
P2	2.01E-03
P3	2.02E-03
P4	1.56E-03
P5	1.95E-03
P6	2.06E-03
P7	1.88E-03
Promedio	1.92E-03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74: *Cálculo del promedio de los valores de las deformaciones unitarias ϵ_o para el concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.*

Briqueta	Deformación unitaria para $f'c$ max (m/m)
F1	2.30E-03
F2	2.36E-03
F3	2.33E-03
F4	2.26E-03
F5	2.42E-03
F6	2.42E-03
F7	2.33E-03
Promedio	2.35E-03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75: *Cálculo del promedio de los valores de las deformaciones unitarias ϵ_o para el concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.*

Briqueta	Deformación unitaria para $f'c$ max (m/m)
S1	2.64E-03
S2	2.73E-03
S3	2.58E-03
S4	2.52E-03
S5	2.60E-03
S6	2.77E-03
S7	2.62E-03
Promedio	2.64E-03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76: *Cuadro comparativo de resumen de resultados e incremento porcentual de los valores de deformación unitaria para $f'c$ máximo.*

	Concreto patrón	Concreto con 0.6 kg/m ³ de fibra	Concreto con 1.0 kg/m ³ de fibra
Deformación unitaria	1.97E-03	2.35E-03	2.64E-03
Incremento porcentual	100.00%	119.00%	133.87%

Fuente: Elaboración propia.



Luego de obtener los siguientes resultados de deformación unitaria, se demuestra que el concreto adicionado con fibras admite mayores deformaciones que el concreto patrón.

Basándonos en el modelo de Kent y Park en la figura 56 se observa que la relación de mejora entre un concreto simple y uno confinado se da cuando este reduce su resistencia en un 50%, por lo tanto, para el cálculo de la ductilidad del concreto adicionado con fibras se realiza la recta de la deformación inelástica del concreto aumentando la mejora porcentual calculada en la tabla 76, esto considerando la misma relación de la gráfica de Kent y Park, es decir el incremento porcentual se da cuando el concreto reduce su resistencia en un 50%, a continuación se muestra los cálculos en la tabla 77 y la figura 58:

Tabla 77: Cálculo de los valores de ductilidad del concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas F6.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																																																																																																															
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."																																																																																																																															
Ductilidad																																																																																																																															
Concreto adicionado con 0.6 kg/m ³ de fibra sintética.																																																																																																																															
Briqueta n° : F6 Fecha de vaciado: 13/04/2019 Fecha de rotura: 11/05/2019 Edad: 28 días																																																																																																																															
<table border="1"> <tr> <td>Altura</td> <td>Diametro</td> </tr> <tr> <td>H= 29.58 cm</td> <td>D= 14.85 cm</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>Area= 173.1979665 cm²</td> </tr> <tr> <td>Resistencia última</td> </tr> <tr> <td>f'c_u= 270.6646275 kg/cm²</td> </tr> </table>	Altura	Diametro	H= 29.58 cm	D= 14.85 cm	Area= 173.1979665 cm ²	Resistencia última	f'c_u= 270.6646275 kg/cm ²																																																																																																																								
Altura	Diametro																																																																																																																														
H= 29.58 cm	D= 14.85 cm																																																																																																																														
Area= 173.1979665 cm ²																																																																																																																															
Resistencia última																																																																																																																															
f'c_u= 270.6646275 kg/cm ²																																																																																																																															
Conversión para la lectura del deformímetro: 1 línea → 0.0001" → 0.00000254 m																																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Carga kg</th> <th>Esfuerzo kg/cm²</th> <th>Lectura del Deformímetro en "líneas"</th> <th>Lectura del Deformímetro en "m" (g)</th> <th>Deformación en el eje en "m" (d)</th> <th>Deformación Unitaria (ε)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3191.661</td><td>18.43</td><td>5</td><td>0.0000127 m</td><td>6.39961E-06 m</td><td>3.14E-05</td></tr> <tr><td>4853.772</td><td>28.02</td><td>10</td><td>0.0000254</td><td>1.27992E-05 m</td><td>6.29E-05</td></tr> <tr><td>7290.855</td><td>42.10</td><td>20</td><td>0.0000508</td><td>2.55984E-05 m</td><td>1.26E-04</td></tr> <tr><td>9687.15</td><td>55.93</td><td>30</td><td>0.0000762</td><td>3.83977E-05 m</td><td>1.89E-04</td></tr> <tr><td>11726.55</td><td>67.71</td><td>40</td><td>0.0001016</td><td>5.11969E-05 m</td><td>2.52E-04</td></tr> <tr><td>14479.74</td><td>83.60</td><td>50</td><td>0.000127</td><td>6.39961E-05 m</td><td>3.14E-04</td></tr> <tr><td>16825.05</td><td>97.14</td><td>60</td><td>0.0001524</td><td>7.67953E-05 m</td><td>3.77E-04</td></tr> <tr><td>19088.784</td><td>110.21</td><td>70</td><td>0.0001778</td><td>8.95945E-05 m</td><td>4.40E-04</td></tr> <tr><td>21617.64</td><td>124.81</td><td>80</td><td>0.0002032</td><td>0.000102394 m</td><td>5.03E-04</td></tr> <tr><td>24309.648</td><td>140.36</td><td>90</td><td>0.0002286</td><td>0.000115193 m</td><td>5.66E-04</td></tr> <tr><td>26461.215</td><td>152.78</td><td>100</td><td>0.000254</td><td>0.000127992 m</td><td>6.29E-04</td></tr> <tr><td>30692.97</td><td>177.21</td><td>120</td><td>0.0003048</td><td>0.000153591 m</td><td>7.55E-04</td></tr> <tr><td>35332.605</td><td>204.00</td><td>140</td><td>0.0003556</td><td>0.000179189 m</td><td>8.81E-04</td></tr> <tr><td>38707.812</td><td>223.49</td><td>160</td><td>0.0004064</td><td>0.000204788 m</td><td>1.01E-03</td></tr> <tr><td>41481.396</td><td>239.50</td><td>180</td><td>0.0004572</td><td>0.000230386 m</td><td>1.13E-03</td></tr> <tr><td>42949.764</td><td>247.98</td><td>200</td><td>0.000508</td><td>0.000255984 m</td><td>1.26E-03</td></tr> <tr><td>45161.4933</td><td>260.75</td><td>240</td><td>0.0006096</td><td>0.000307181 m</td><td>1.51E-03</td></tr> <tr><td>45743.742</td><td>264.11</td><td>280</td><td>0.0007112</td><td>0.000358378 m</td><td>1.76E-03</td></tr> <tr><td>46878.56309</td><td>270.66</td><td>320</td><td>0.0008128</td><td>0.000409575 m</td><td>2.01E-03</td></tr> <tr><td>46878.56309</td><td>270.66</td><td>350</td><td>0.000889</td><td>0.000447973 m</td><td>2.20E-03</td></tr> </tbody> </table>	Carga kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura del Deformímetro en "líneas"	Lectura del Deformímetro en "m" (g)	Deformación en el eje en "m" (d)	Deformación Unitaria (ε)	3191.661	18.43	5	0.0000127 m	6.39961E-06 m	3.14E-05	4853.772	28.02	10	0.0000254	1.27992E-05 m	6.29E-05	7290.855	42.10	20	0.0000508	2.55984E-05 m	1.26E-04	9687.15	55.93	30	0.0000762	3.83977E-05 m	1.89E-04	11726.55	67.71	40	0.0001016	5.11969E-05 m	2.52E-04	14479.74	83.60	50	0.000127	6.39961E-05 m	3.14E-04	16825.05	97.14	60	0.0001524	7.67953E-05 m	3.77E-04	19088.784	110.21	70	0.0001778	8.95945E-05 m	4.40E-04	21617.64	124.81	80	0.0002032	0.000102394 m	5.03E-04	24309.648	140.36	90	0.0002286	0.000115193 m	5.66E-04	26461.215	152.78	100	0.000254	0.000127992 m	6.29E-04	30692.97	177.21	120	0.0003048	0.000153591 m	7.55E-04	35332.605	204.00	140	0.0003556	0.000179189 m	8.81E-04	38707.812	223.49	160	0.0004064	0.000204788 m	1.01E-03	41481.396	239.50	180	0.0004572	0.000230386 m	1.13E-03	42949.764	247.98	200	0.000508	0.000255984 m	1.26E-03	45161.4933	260.75	240	0.0006096	0.000307181 m	1.51E-03	45743.742	264.11	280	0.0007112	0.000358378 m	1.76E-03	46878.56309	270.66	320	0.0008128	0.000409575 m	2.01E-03	46878.56309	270.66	350	0.000889	0.000447973 m	2.20E-03	
Carga kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura del Deformímetro en "líneas"	Lectura del Deformímetro en "m" (g)	Deformación en el eje en "m" (d)	Deformación Unitaria (ε)																																																																																																																										
3191.661	18.43	5	0.0000127 m	6.39961E-06 m	3.14E-05																																																																																																																										
4853.772	28.02	10	0.0000254	1.27992E-05 m	6.29E-05																																																																																																																										
7290.855	42.10	20	0.0000508	2.55984E-05 m	1.26E-04																																																																																																																										
9687.15	55.93	30	0.0000762	3.83977E-05 m	1.89E-04																																																																																																																										
11726.55	67.71	40	0.0001016	5.11969E-05 m	2.52E-04																																																																																																																										
14479.74	83.60	50	0.000127	6.39961E-05 m	3.14E-04																																																																																																																										
16825.05	97.14	60	0.0001524	7.67953E-05 m	3.77E-04																																																																																																																										
19088.784	110.21	70	0.0001778	8.95945E-05 m	4.40E-04																																																																																																																										
21617.64	124.81	80	0.0002032	0.000102394 m	5.03E-04																																																																																																																										
24309.648	140.36	90	0.0002286	0.000115193 m	5.66E-04																																																																																																																										
26461.215	152.78	100	0.000254	0.000127992 m	6.29E-04																																																																																																																										
30692.97	177.21	120	0.0003048	0.000153591 m	7.55E-04																																																																																																																										
35332.605	204.00	140	0.0003556	0.000179189 m	8.81E-04																																																																																																																										
38707.812	223.49	160	0.0004064	0.000204788 m	1.01E-03																																																																																																																										
41481.396	239.50	180	0.0004572	0.000230386 m	1.13E-03																																																																																																																										
42949.764	247.98	200	0.000508	0.000255984 m	1.26E-03																																																																																																																										
45161.4933	260.75	240	0.0006096	0.000307181 m	1.51E-03																																																																																																																										
45743.742	264.11	280	0.0007112	0.000358378 m	1.76E-03																																																																																																																										
46878.56309	270.66	320	0.0008128	0.000409575 m	2.01E-03																																																																																																																										
46878.56309	270.66	350	0.000889	0.000447973 m	2.20E-03																																																																																																																										
<table border="1"> <tr> <td>DUCTILIDAD DEL CONCRETO</td> <td>$\mu = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_0}$</td> <td>DUCTILIDAD DEL CONCRETO</td> <td>$\mu = 4.31$</td> </tr> </table>	DUCTILIDAD DEL CONCRETO	$\mu = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_0}$	DUCTILIDAD DEL CONCRETO	$\mu = 4.31$																																																																																																																											
DUCTILIDAD DEL CONCRETO	$\mu = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_0}$	DUCTILIDAD DEL CONCRETO	$\mu = 4.31$																																																																																																																												
<table border="1"> <tr> <td>ε₀= 2.01E-03</td> <td>ε_u= 8.67E-03</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Cálculo de puntos de las rectas</td> </tr> <tr> <td>f'c= 270.7 kg/cm²</td> <td>ε₁= 2.20E-03</td> <td>f'c= 271 kg/cm²</td> <td>ε₁= 2.20E-03</td> </tr> <tr> <td>0.5 f'c= 135.3 kg/cm²</td> <td>ε_{50u}= 5.25E-03</td> <td>0.5 f'c= 135.3 kg/cm²</td> <td>ε_{50c}= 6.25E-03</td> </tr> <tr> <td>0.2 f'c= 54.1 kg/cm²</td> <td>ε_u= 7.08E-03</td> <td>0.2 f'c= 54.1 kg/cm²</td> <td>ε_u= 8.67E-03</td> </tr> </table>	ε ₀ = 2.01E-03	ε _u = 8.67E-03	Cálculo de puntos de las rectas		f'c= 270.7 kg/cm ²	ε ₁ = 2.20E-03	f'c= 271 kg/cm ²	ε ₁ = 2.20E-03	0.5 f'c= 135.3 kg/cm ²	ε _{50u} = 5.25E-03	0.5 f'c= 135.3 kg/cm ²	ε _{50c} = 6.25E-03	0.2 f'c= 54.1 kg/cm ²	ε _u = 7.08E-03	0.2 f'c= 54.1 kg/cm ²	ε _u = 8.67E-03																																																																																																															
ε ₀ = 2.01E-03	ε _u = 8.67E-03																																																																																																																														
Cálculo de puntos de las rectas																																																																																																																															
f'c= 270.7 kg/cm ²	ε ₁ = 2.20E-03	f'c= 271 kg/cm ²	ε ₁ = 2.20E-03																																																																																																																												
0.5 f'c= 135.3 kg/cm ²	ε _{50u} = 5.25E-03	0.5 f'c= 135.3 kg/cm ²	ε _{50c} = 6.25E-03																																																																																																																												
0.2 f'c= 54.1 kg/cm ²	ε _u = 7.08E-03	0.2 f'c= 54.1 kg/cm ²	ε _u = 8.67E-03																																																																																																																												
<table border="1"> <tr> <td>Ecuación de la primera recta</td> <td>y = -44405X + 368.41</td> <td>Ecuación de la segunda recta</td> <td>y = -33457X + 344.31</td> </tr> </table>	Ecuación de la primera recta	y = -44405X + 368.41	Ecuación de la segunda recta	y = -33457X + 344.31																																																																																																																											
Ecuación de la primera recta	y = -44405X + 368.41	Ecuación de la segunda recta	y = -33457X + 344.31																																																																																																																												

Fuente: Elaboración propia

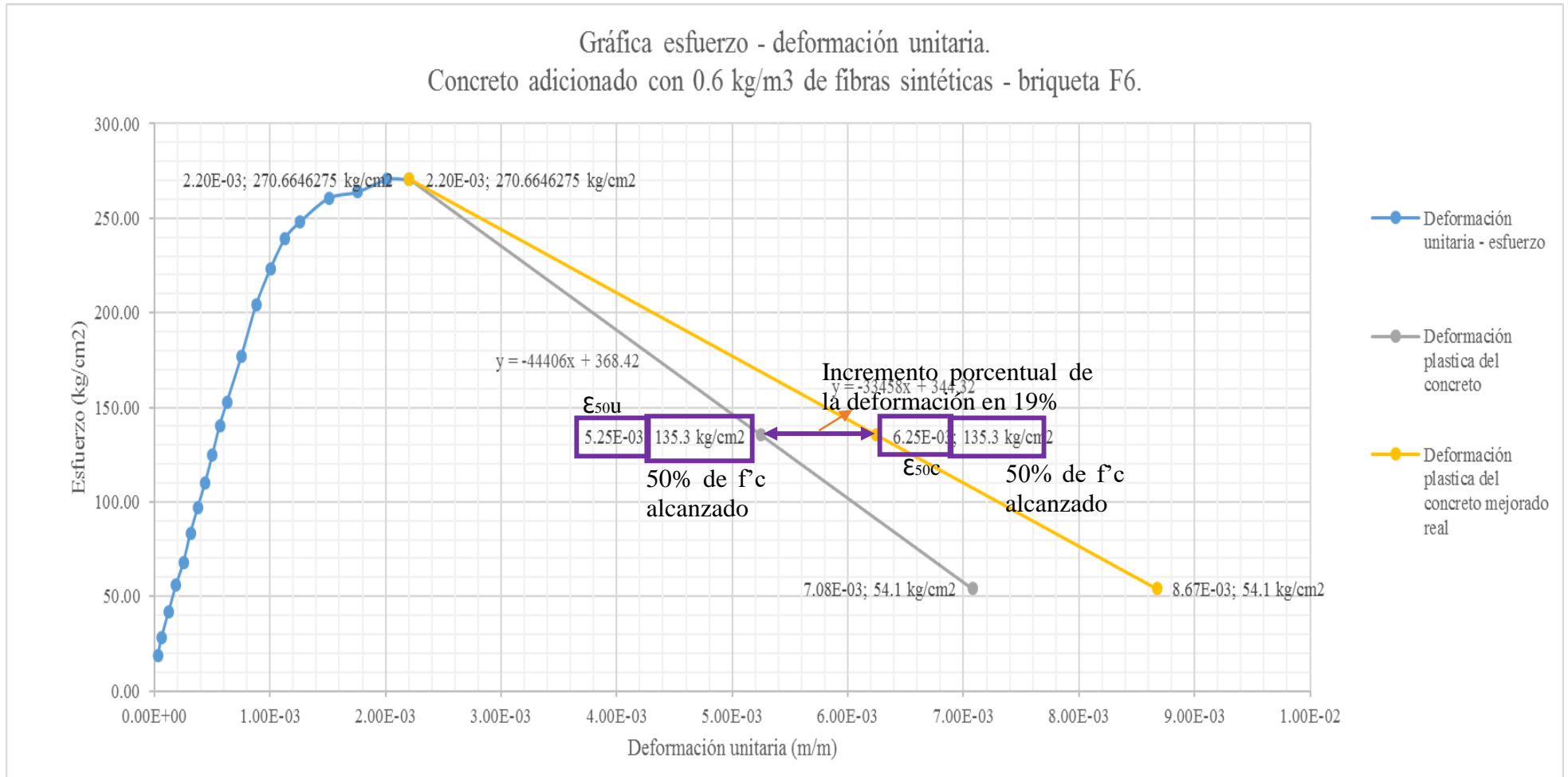


Figura 58: Gráfico esfuerzo – deformación unitaria del concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas F6.

Fuente: Elaboración propia.



Las demás hojas de cálculo correspondientes a las briquetas ensayadas están adjuntas en el apéndice de anexos como: “Cálculo de los valores de ductilidad del concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.”

c) Cálculo de la ductilidad para concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.

Para la determinación de la ductilidad para cada testigo de concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas se utiliza las formulas y el procedimiento detallados anteriormente en el ítem b, con la diferencia del incremento porcentual de la deformación unitaria, que para este concreto es de 33.87 % y como se muestra en las hojas de cálculo adjuntas en el apéndice de anexos como: “Cálculo de los valores de ductilidad del concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.”

4. Resultados.

4.1. Granulometría del agregado fino.

En el siguiente gráfico se puede apreciar que la curva granulométrica del agregado fino de la cantera del río Apurímac se encuentra dentro de los límites granulométricos establecidos por la norma NTP 400.037. Además, se tiene un módulo de fineza de 2.97. Por lo tanto, este agregado es el adecuado para la fabricación del concreto.

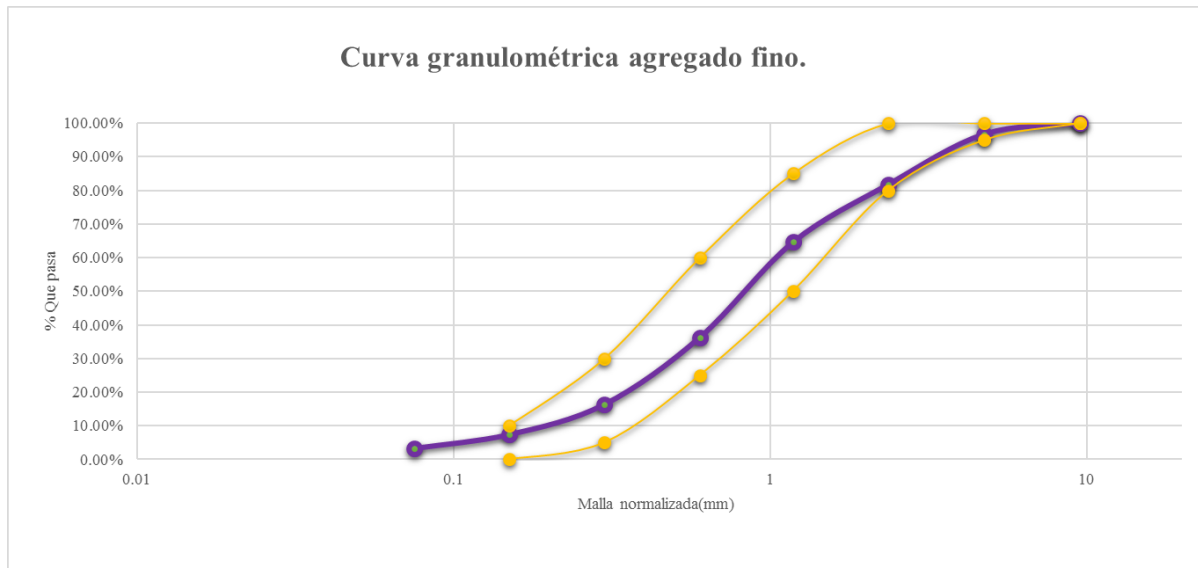


Figura 59: Curva granulométrica del agregado fino de la cantera del río Apurímac.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Granulometría del agregado grueso.

En el siguiente gráfico se puede apreciar que la curva granulométrica del agregado grueso de la cantera del río Apurímac se encuentra dentro de los límites granulométricos establecidos por la norma NTP 400.037.

- **Tamaño máximo nominal: 1"** (Corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido)
- **Tamaño máximo: 1 1/2"** (Corresponde al mayor tamiz de la serie utilizada por la que pasa el 100% del material)

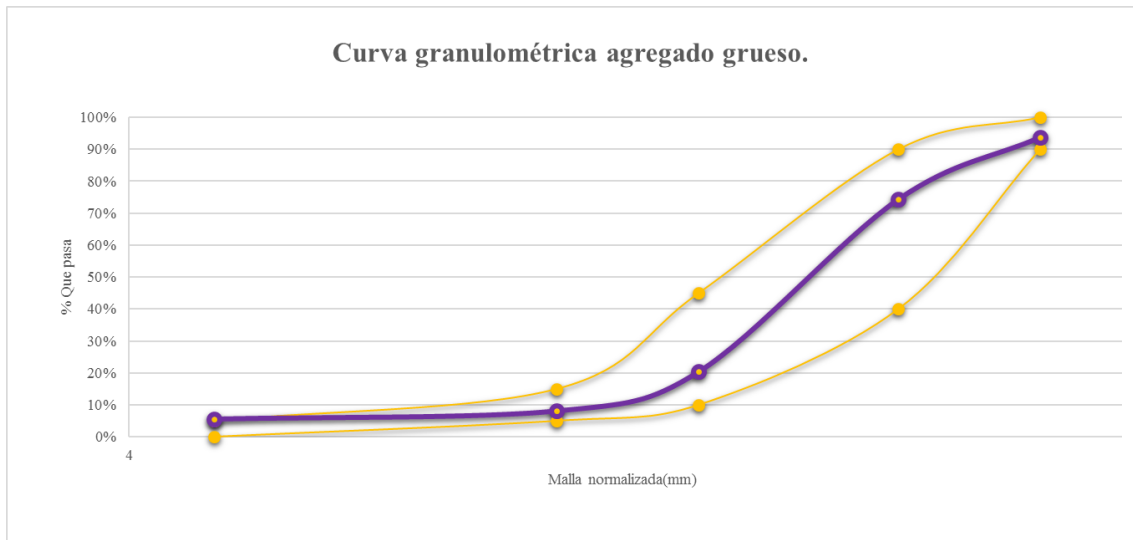


Figura 60: Curva granulométrica del agregado grueso de la cantera del río Apurímac.

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Características de los agregados.

En las siguientes tablas se muestran las características de los agregados que se emplearon para realizar el diseño de mezclas.

Tabla 78: Resumen de las características del agregado fino.

Agregado fino	
Peso unitario suelto (kg /m3)	1663.60
Peso unitario compactado (kg/m3)	1796.75
Peso específico (PE)	2.75
Contenido de humedad %	2.69
Absorción (ABS) %	2.64%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79: Resumen de las características del agregado grueso.

Agregado grueso	
Peso unitario suelto (kg /m3)	1541.41
Peso unitario compactado (kg/m3)	1759.15
Peso específico (PE)	2.72
Contenido de humedad %	3.42
Absorción (ABS) %	0.91%

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Diseño de mezclas ACI C-211.

En las tablas 80 y 81 se muestra el resultado del diseño de mezclas en proporciones de peso y volumen, este diseño fue usado para la elaboración de las briquetas.

Tabla 80: *Proporción final de los materiales por peso.*

Elemento	Peso	Proporción
Cemento	342.00 Kg ó 8.0 bolsas	1.0 K
Arena	852.84 Kg	2.5 K
Piedra	1040.82 Kg	3.0 K
Agua	166.45 Kg	0.5 K
Total	2402.108 kg.	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 81: *Proporción final de los materiales por volumen.*

Elemento	Peso	Proporción
Cemento	0.120 m ³ ó 8.047 pies ³	1.0 K
Arena	0.513 m ³ ó 18.102 pies ³	2.2 K
Piedra	0.675 m ³ ó 23.843 pies ³	3.0 K
Agua	0.166 m ³	1.4 K

Fuente: Elaboración propia

4.5. Resistencia a la compresión.

En las tablas 82, 83 y 84 se muestran el resultado de los valores de resistencia a la compresión de cada briketa procesada, elegidas según el criterio de Chauvenet, y su respectivo promedio por tipo de concreto, en la tabla 85 se tiene el promedio mostrado anteriormente y el incremento porcentual con respecto al concreto patrón, por último, en la figura 61 se muestra una gráfica de barras donde se compara los valores de resistencia a la compresión promedio alcanzados por cada tipo de concreto.

Tabla 82: Promedio de los valores de resistencia a la compresión del concreto patrón.

Briqueta	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
P1	268.48
P2	271.04
P3	248.06
P4	275.43
P5	298.70
P6	291.00
P7	285.68
Promedio	276.91

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83: Promedio de los valores de resistencia a la compresión del concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.

Briqueta	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
F1	319.68
F2	290.44
F3	287.86
F4	311.45
F5	300.90
F6	270.66
F7	300.99
Promedio	297.43

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84: Promedio de los valores de resistencia a la compresión del concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.

Briqueta	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
S1	304.97
S2	307.77
S3	319.95
S4	323.29
S5	332.49
S6	315.92
S7	321.01
Promedio	317.92

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85: Cuadro comparativo de resumen de resultados e incremento porcentual de los valores de resistencia a la compresión del concreto.

	Concreto patrón	Concreto con 0.6 kg/m3 de fibra	Concreto con 1.0 kg/m3 de fibra
Resistencia a la compresión	276.91	297.43	317.92
Incremento porcentual	100.00%	107.41%	114.81%

Fuente: Elaboración propia.

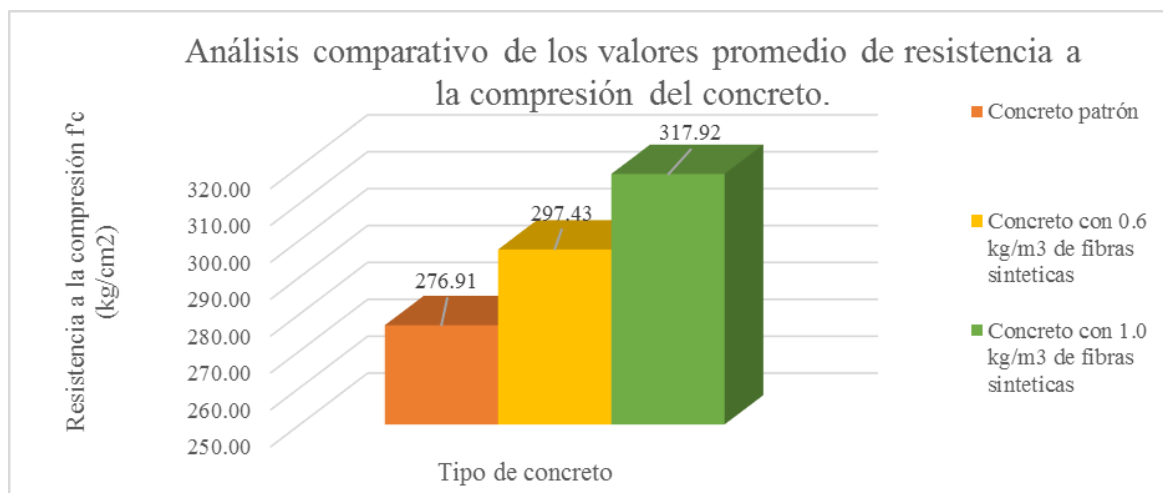


Figura 61: Gráfico comparativo de los valores promedio de resistencia a la compresión del concreto.

Fuente: Elaboración propia.

4.6. Módulo de elasticidad.

En las tablas 86, 87 Y 88 se muestran el resultado de los valores del módulo de elasticidad y su respectivo promedio por tipo de concreto de todas las briquetas ensayadas, puesto que según el criterio de Chauvenet en el procesamiento de datos de resistencia a la compresión, indica que todos los valores que dieron las briquetas ensayadas tienen una dispersión adecuada, en la tabla 89 se tiene el promedio mostrado anteriormente y el incremento porcentual con respecto al concreto patrón, por último, en la figura 62 se muestra una gráfica de barras donde se compara los valores del módulo de elasticidad promedio alcanzados por cada tipo de concreto.



Las tablas 90, 91 y 92 muestran el resultado del cálculo del módulo de elasticidad teórico según el RNE E060, y la figura 63 muestra una gráfica comparativa de barras entre el promedio del módulo de elasticidad calculado y el promedio del módulo de elasticidad teórico.

Tabla 86: *Promedio de los valores del módulo de elasticidad del concreto patrón.*

Briqueta	Modulo de elasticidad (kg/cm2)
P1	218509.016
P2	222119.6816
P3	214475.2927
P4	214573.8891
P5	210486.5672
P6	222175.4047
P7	221492.9017
Promedio	217690.3933

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87: *Promedio de los valores del módulo de elasticidad del concreto añadido con 0.6 kg/m3 de fibras sintéticas.*

Briqueta	Modulo de elasticidad (kg/cm2)
F1	233885.5701
F2	220319.2342
F3	229775.3826
F4	228113.3661
F5	230313.7284
F6	218004.9453
F7	227839.5362
Promedio	226893.109

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 88: Promedio de los valores del módulo de elasticidad del concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.

Briqueta	Modulo de elasticidad (kg/cm ²)
S1	241760.4873
S2	255309.1645
S3	248281.5641
S4	245210.5156
S5	242590.7899
S6	242375.1556
S7	241205.4218
Promedio	245247.5856

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 89: Cuadro comparativo de resumen de resultados e incremento porcentual de los valores del módulo de elasticidad del concreto.

	Concreto patrón	Concreto con 0.6 kg/m ³ de fibra	Concreto con 1.0 kg/m ³ de fibra
Módulo de elasticidad	217690.39	226893.11	245247.59
Incremento porcentual	100.00%	104.23%	112.66%

Fuente: Elaboración propia.

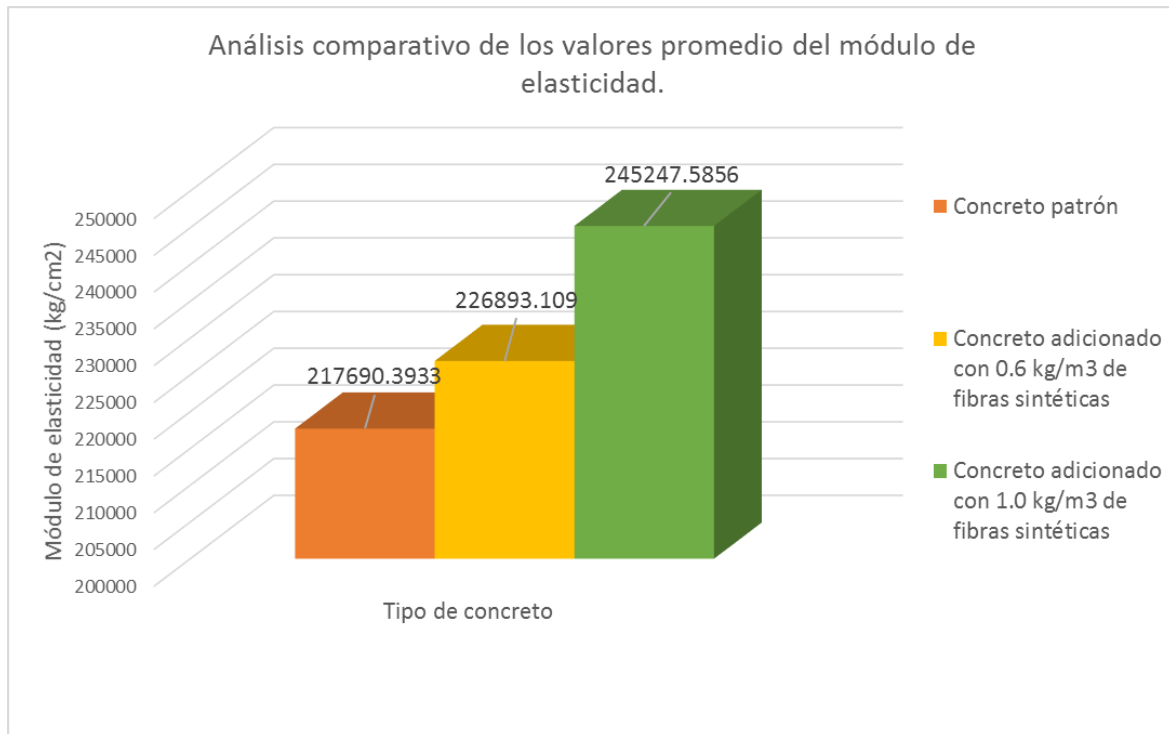


Figura 62: Gráfico comparativo de los valores promedio del módulo de elasticidad del concreto.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 90: Promedio de los valores del módulo de elasticidad teórico del concreto patrón.

Briqueta	Modulo de elasticidad (kg/cm ²)
P1	245778.4682
P2	246948.3747
P3	248947.7163
P4	236247.1605
P5	259243.1849
P6	255880.2328
P7	253520.9447
Promedio	249509.4403

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 91: Promedio de los valores del módulo de elasticidad teórico del concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.

Briqueta	Modulo de elasticidad (kg/cm ²)
F1	252313.1387
F2	253886.0696
F3	252832.0237
F4	259496.4176
F5	260196.5959
F6	246778.324
F7	258081.7709
Promedio	254797.7629

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 92: Promedio de los valores del módulo de elasticidad teórico del concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.

Briqueta	Modulo de elasticidad (kg/cm ²)
S1	261950.2703
S2	263150.7988
S3	268307.9778
S4	269705.8232
S5	273515.6974
S6	266612.4945
S7	268751.432
Promedio	267427.7848

Fuente: Elaboración propia.

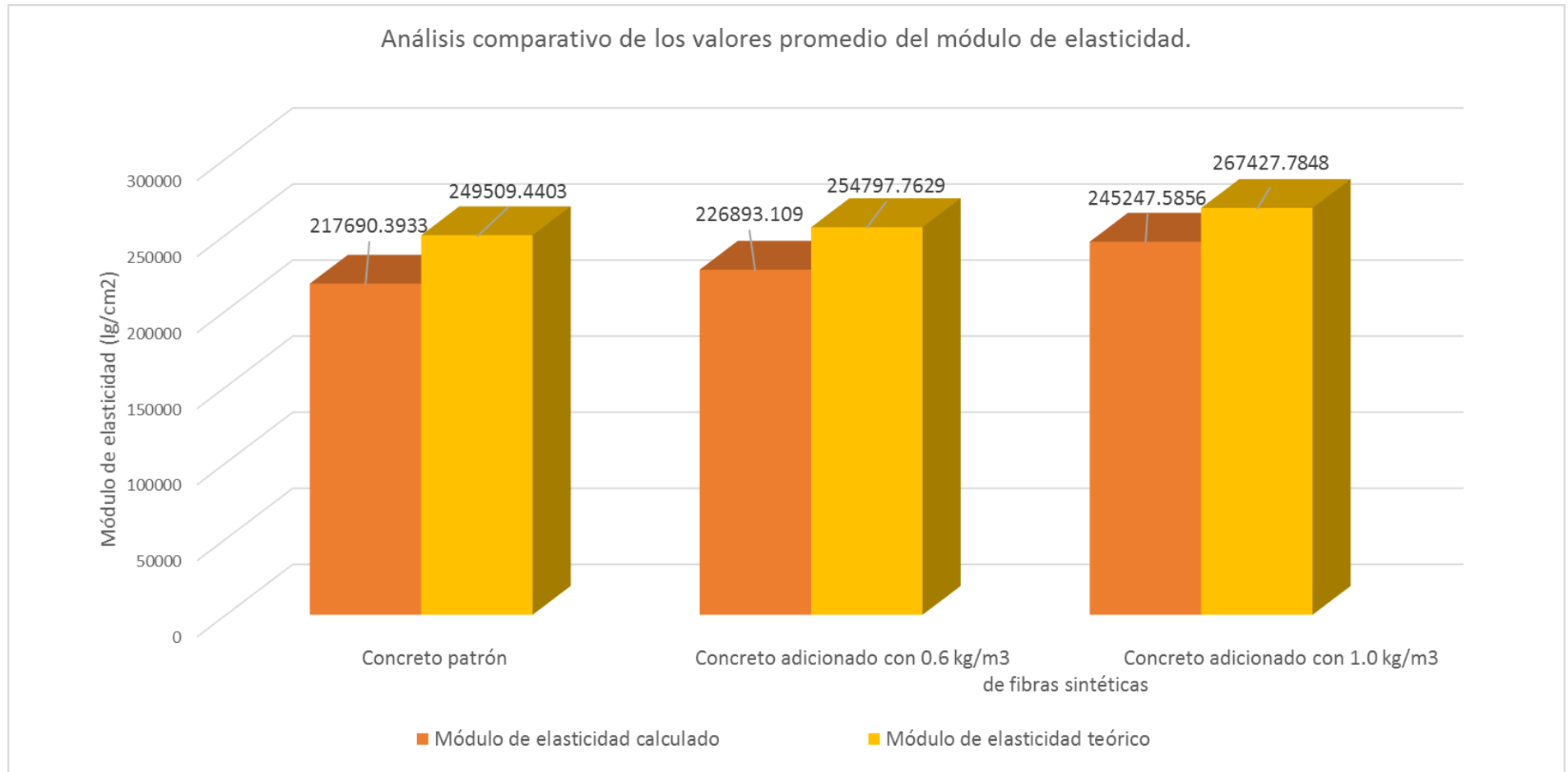
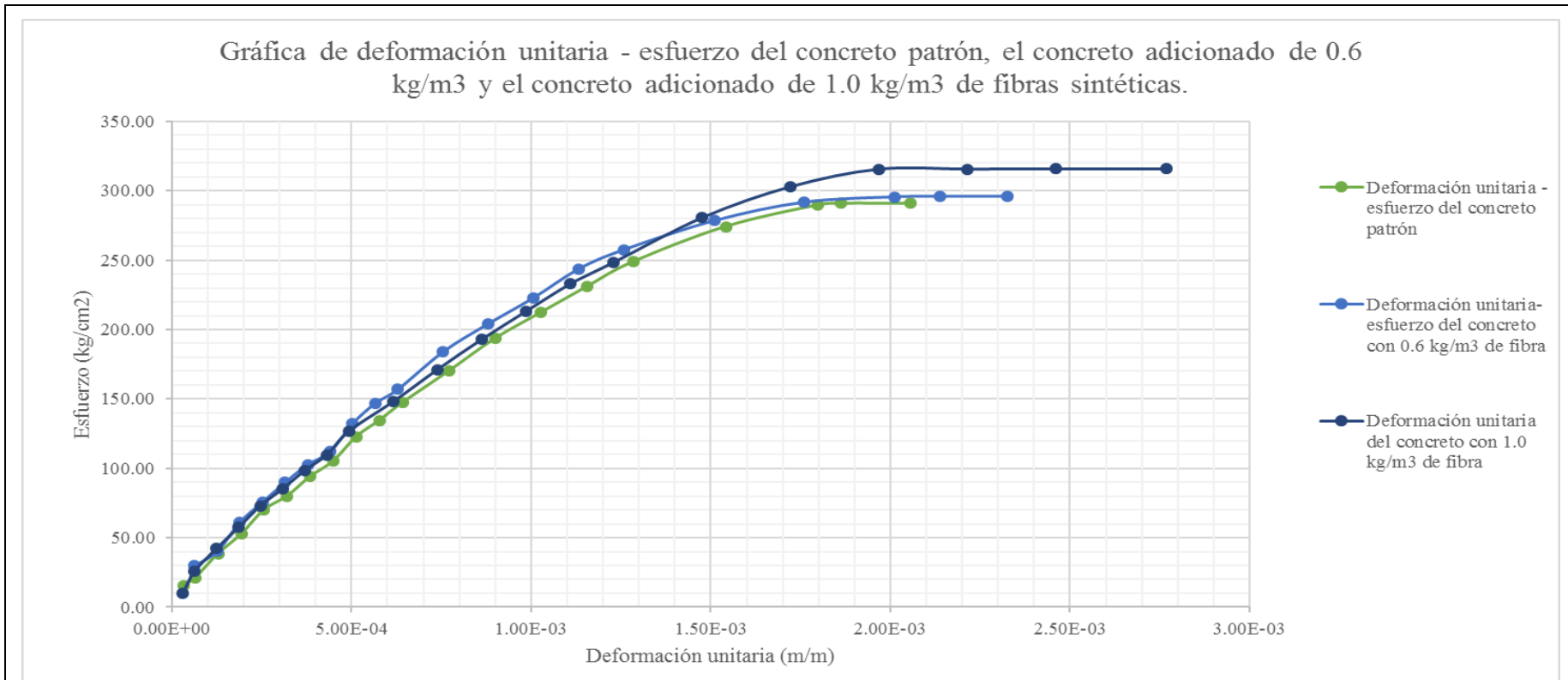


Figura 63: Gráfico comparativo de los valores promedio del módulo de elasticidad del concreto.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 93: Cuadro comparativo de graficas del módulo de elasticidad entre concretos.



Módulo de elasticidad del concreto patrón. (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad del concreto adicionado con 0.6kg/m ³ de fibras sintéticas. (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad del concreto adicionado con 1.0 kg/m ³ de fibras sintéticas. (kg/cm ²)
217690.39	226893.11	245247.59

Fuente: Elaboración propia.

4.7. Ductilidad

En las tablas 94, 95 y 96 se muestra el resultado de los valores de ductilidad y su respectivo promedio por tipo de concreto, en la tabla 97 se tiene el promedio mostrado anteriormente y el incremento porcentual con respecto al concreto patrón, por último, en la figura 64 se muestra una gráfica de barras donde se compara los valores de ductilidad promedio alcanzados por cada tipo de concreto.

En las tablas 98, 99 y 100 se muestra el promedio de los valores de deformación alcanzada para $f'c$ máximo de cada briqueta y en la tabla 101 se muestra el incremento porcentual, el cual fue necesario calcular para graficar las rectas de la deformación inelástica del concreto adicionado con fibras.

Tabla 94: Promedio de los valores de ductilidad del concreto patrón.

Briqueta	Ductilidad (ϵ_u/ϵ_o)
P1	3.40
P2	3.32
P3	3.26
P4	3.06
P5	3.05
P6	3.06
P7	3.24
Promedio	3.20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 95: Promedio de los valores de ductilidad del concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.

Briqueta	Ductilidad (ϵ_u/ϵ_o)
F1	3.90
F2	4.30
F3	4.25
F4	4.23
F5	3.83
F6	4.31
F7	3.88
Promedio	4.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 96: Promedio de los valores de ductilidad del concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.

Briqueta	Ductilidad (ϵ_u/ϵ_o)
S1	4.96
S2	5.10
S3	4.94
S4	4.92
S5	5.05
S6	5.08
S7	4.80
Promedio	4.98

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97: Cuadro comparativo de resumen de resultados e incremento porcentual de los valores de ductilidad del concreto.

	Concreto patrón	Concreto con 0.6 kg/m ³ de fibra	Concreto con 1.0 kg/m ³ de fibra
Ductilidad	3.20	4.10	4.98
Incremento porcentual	100.00%	128.14%	155.58%

Fuente: Elaboración propia.

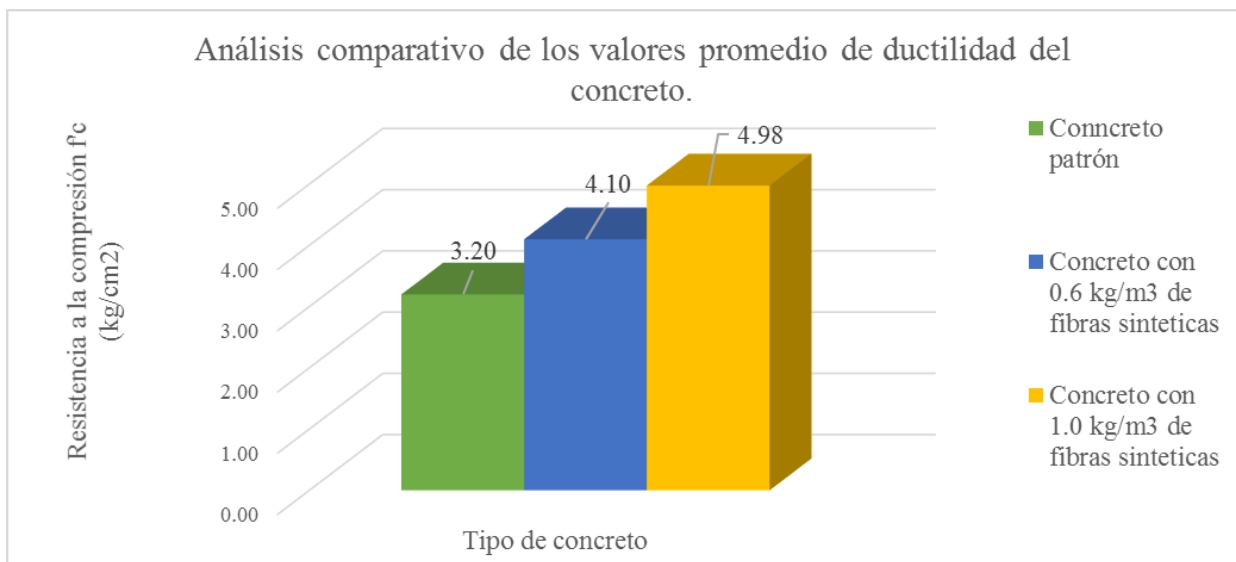


Figura 64: Gráfico comparativo de los valores promedio de los resultados de ductilidad del concreto.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 98: Promedio de los valores de deformación unitaria del concreto patrón.

Briqueta	Deformación unitaria para $f'c$ max (m/m)
P1	1.96E-03
P2	2.01E-03
P3	2.02E-03
P4	1.91E-03
P5	1.95E-03
P6	2.06E-03
P7	1.88E-03
Promedio	1.97E-03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 99: Promedio de los valores de deformación unitaria del concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.

Briqueta	Deformación unitaria para $f'c$ max (m/m)
F1	2.30E-03
F2	2.36E-03
F3	2.33E-03
F4	2.26E-03
F5	2.42E-03
F6	2.42E-03
F7	2.33E-03
Promedio	2.35E-03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 100: Promedio de los valores de deformación unitaria del concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.

Briqueta	Deformación unitaria para f _c max (m/m)
S1	2.64E-03
S2	2.73E-03
S3	2.58E-03
S4	2.52E-03
S5	2.60E-03
S6	2.77E-03
S7	2.62E-03
Promedio	2.64E-03

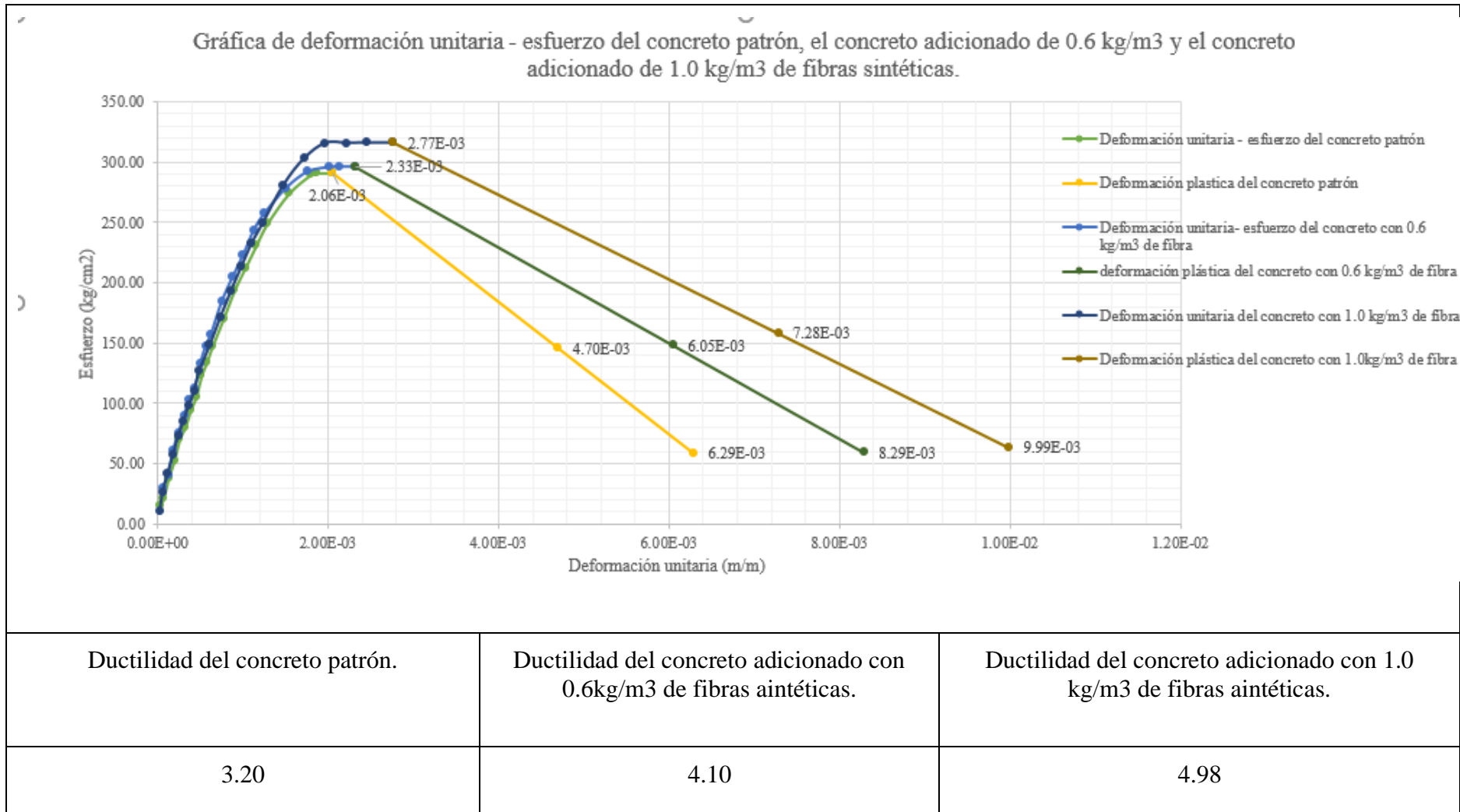
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 101: Cuadro comparativo de resumen de resultados e incremento porcentual de los valores de deformación unitaria del concreto.

	Concreto patrón	Concreto con 0.6 kg/m ³ de fibra	Concreto con 1.0 kg/m ³ de fibra
Deformación unitaria	1.97E-03	2.35E-03	2.64E-03
Incremento porcentual	100.00%	119.00%	133.87%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 102: Cuadro comparativo de graficas de ductilidad entre concretos.



Fuente: Elaboración propia.



5. Discusiones.

1. ¿Los resultados obtenidos de los valores de ductilidad fueron los esperados?

Si, la ductilidad presenta incrementos significativos, sin embargo, se esperaba resultados parecidos al incremento de las deformaciones calculadas del ensayo de módulo de elasticidad.

La ductilidad viene a ser la relación entre ϵ_u (deformación calculada con el modelo de Kent y Park) / ϵ_o (deformación obtenida del ensayo de módulo de elasticidad), es por ello que se esperó un incremento similar al de las deformaciones unitarias como lo demuestra el análisis comparativo de deformaciones alcanzadas para los diferentes concretos donde se tiene un incremento hasta en más de 33.87% para la dosificación de 1.0 kg de fibras por m³ de concreto

Los resultados de los valores de ductilidad de los concreto adicionados con dos dosificaciones diferentes de fibras sintéticas aumenta con respecto al concreto patrón evaluado, para la primera dosificación en un 28.14% y para la segunda dosificación 55.58%.

2. ¿Los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión fueron los esperados según el diseño de mezclas?

Sí, los resultados de las magnitudes de la resistencia a la compresión evaluados a los 28 días de edad del concreto patrón están en el rango de 250 kg/cm² a 290 kg/cm², de estos resultados podemos inferir que si fueron los esperados puesto que en el diseño de mezclas se diseña para un $f_{cr} = 295$ kg/cm².

3. ¿Los resultados obtenidos del ensayo de módulo de elasticidad fueron los esperados?

Si, los obtenidos del procesamiento de datos demuestran la hipótesis planteada para esta variable, los resultados obtenidos para la primera dosificación de fibras demuestran un incremento en el módulo de elasticidad de 4.23% y para la segunda dosificación un incremento de 12.66%, sin embargo, el incremento demostrado no es significativo debido a que la variable del módulo de elasticidad depende de la resistencia a la compresión, además el procesamiento de datos se puede mejorar si se tiene una mayor precisión de lectura del video, que en milésimas de segundo se observa el cambio de carga aplicada a la briqueta.

4. ¿Se modificó el módulo de elasticidad del concreto con la adición de fibras sintéticas?

Sí, el módulo de elasticidad del concreto depende principalmente de la resistencia a la compresión, en esta investigación vemos que el incremento en la resistencia a la compresión



no es significativo, por lo tanto, los valores del módulo de elasticidad incrementan, pero no lo hace de manera significativa.

5. ¿Por qué se adicionaron las fibras sintéticas en el concreto?

Se emplearon estos tipos de fibra con la finalidad de determinar y comparar los valores de ductilidad del concreto, para lo cual se realizó una revisión teórica de las propiedades de las fibras como refuerzo en el concreto con la finalidad de determinar que refuerzo es el más adecuado aportando ductilidad al concreto, según la ficha técnica de Sikafiber, las fibras sintéticas son la mejor opción para el aumento de ductilidad del concreto debido a la red tridimensional uniforme absorbiendo tensiones del concreto que es la variable principal de esta investigación, es así, que se adicionó fibra sintética al concreto para luego compararlo frente a uno tradicional.

6. ¿Por qué se empleó las dosificaciones de 0.6 kg/m³ y 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas?

Estas dosificaciones de fibras fueron empleadas debido a la recomendación del fabricante en su ficha técnica, la cual nos indica hasta $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, utilizar 600 g de SikaFiber® PE por m³ de concreto y para concretos de alta resistencia, mayores a $f'c = 300 \text{ kg/m}^2$, utilizar 1 kg de SikaFiber® PE por m³ de concreto.

Se decidió usar las dos proporciones debido al diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y al $f'cr = 295\text{kg/cm}^2$, además que al usar fibra se espera un incremento en la resistencia a la compresión como se planteó en la hipótesis de esta variable.

7. ¿Qué variaciones existen entre el módulo de elasticidad estático de un concreto patrón hallado experimentalmente y el propuesto por la norma E.060 de Concreto Armado?

Se determinó el módulo de elasticidad estático experimental (E_c) del concreto patrón según la norma ASTM C-469, obteniendo valores menores pero cercanos en comparación a los propuestos en el RNE E-060 de concreto armado, esta variación se ha podido originar debido a que las ecuaciones de esta norma han sido desarrolladas ensayando varios factores diferentes a los nuestros, como factores de zona, tipo de cemento, lugar de elaboración, además se podría decir que la tecnología marca una diferencia como la precisión de lectura de video, el cual fue limitante para el ensayo como se mencionó anteriormente. Además, dicho ensayo es muy complicado de realizar sino se cuenta con conocimientos previos, pequeños factores, como la altura del pivote en el ensayo, determinan grandes diferencias en los resultados.



8. ¿Por qué se utilizó el modelo de Kent y Park como referencia para calcular la deformación última?

El modelo planteado por Kent y Park para la deformación del concreto es usado en concreto confinado, sin embargo, dicho autor sustenta que el comportamiento del concreto confinado y el concreto sin confinar tiene el mismo comportamiento elástico, variando en el comportamiento inelástico entre dichos concretos, este modelo se demostró en las curvas esfuerzo – deformación halladas en el procesamiento de datos del ensayo de módulo de elasticidad realizadas en esta investigación, además teniendo ecuaciones planteadas para las diferentes curvas de la gráfica, facilitó el cálculo de la deformación unitaria final, esencial para calcular la ductilidad, Kent y Park proponen que esta deformación última ocurre cuando el concreto degrada su capacidad de carga hasta el 20% de su $f'c$ máximo alcanzado.

9. ¿Cuál es el beneficio estructural de brindar ductilidad al concreto?

Estructuralmente, sabemos que los diseños de elementos estructurales se diseñan dúctilmente, esto para que en caso ocurra una falla debido a cualquier situación, más aún en edificaciones, ninguna persona se vea afectada, o la estructura proporcione aviso de que está empezando a fallar y así poner en sobreaviso a quien ocupe dicha edificación. En esta investigación realizada sabemos que, si el concreto resiste mayores deformaciones aún alcanzado su límite elástico, tiene mayor ductilidad; es decir, en el caso de falla como puede ser por un sismo, se espera un mejor comportamiento de la estructura debido a que el material menos dúctil, el concreto, resista mayores deformaciones dando así incluso un mayor tiempo para la evacuación de personas que ocupan la edificación, además de asegurar una falla dúctil en cualquier situación.

10. ¿Por qué se usó la dosificación de volumen calculada en el diseño de mezcla y no la dosificación de peso?

Se usó esta dosificación por la facilidad de moldes ya elaborados en obra (1 pie³), donde se vaciaron las briquetas.

Estos moldes con la medida de 1 pie³ son elaborados para facilitar el vaciado debido a que el cálculo conocido de una bolsa de cemento de 42.5 kg equivale a 1 pie³, sin embargo, si la proporción de volumen calculada en el diseño de mezcla no se aproxima a un número exacto se dificulta la medida de los materiales.



11. ¿Por qué se espera mayores incrementos porcentuales en los valores de ductilidad del concreto en comparación con los de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad?

En la ficha técnica de Sikafiber indica que, si las fibras sintéticas mejoran la ductilidad del concreto, estas no influyen en la resistencia a la compresión del mismo, variable de la cual depende el módulo de elasticidad.

En la investigación se pudo observar que, si bien los valores del módulo de elasticidad incrementan, no viene a ser muy significativo a comparación con el incremento de deformaciones alcanzadas para el concreto con fibras; esto se puede observar en las lecturas del deformímetro detalladas en las hojas Excel anexadas para el cálculo del módulo de elasticidad, debido a que el módulo de elasticidad incrementa en proporción a la resistencia a la compresión del concreto y la ductilidad en relación al incremento de las deformaciones.



6. Glosario

- **Absorción de agua:** La cantidad de agua absorbida por un material bajo condiciones especificadas de ensayo, comúnmente expresada como el porcentaje de la masa de la probeta de ensayo.
- **Aglomerante:** Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto, por efectos de tipo exclusivamente físico.
- **ASTM:** Siglas en inglés para la American Society of Testing Materials, que significa, Asociación Americana de Ensayo de Materiales. Esta asociación radicada en Estados Unidos se encarga de probar la resistencia de los materiales para la construcción de bienes.
- **Cantera:** Depósito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y mantenimiento de carreteras.
- **Cal:** Generalmente este término incluye las varias formas químicas y físicas de la cal viva, cal hidratada y cal hidráulica.
- **Clínker (clínquer):** producto final del horno de cemento portland, material cementante bruto antes de la molienda.
- **Concreto endurecido:** Concreto en el estado sólido que haya desarrollado una cierta resistencia.
- **Concreto fresco:** Concreto recién mezclado y aún plástico y trabajable.
- **Concreto reforzado (armado):** Concreto al cual se adicionan materiales resistentes a la tensión, tales como varillas de acero o alambre metálico.
- **Concreto reforzado con fibras:** Concreto que contiene fibras orientadas aleatoriamente en 2 o 3 dimensiones por toda la matriz del concreto.
- **Cono de abrams:** Molde con forma de cono trunco constituido material no atacable por la pasta de cemento, que se usa para medir la consistencia de la mezcla de concreto fresco. Se conoce también como cono de asentamiento.
- **Consistencia:** Movilidad relativa o capacidad para fluir del concreto, mortero o grout frescos. (Véanse también revenimiento y trabajabilidad).
- **Contenido de aire:** Volumen total de vacíos de aire, sea incluido, sea atrapado, en la pasta de cemento, mortero o concreto. El aire incluido aumenta la durabilidad del mortero o concreto endurecidos sometidos a congelación-deshielo y aumenta la trabajabilidad de las mezclas frescas.



- **Contracción (retracción):** Disminución de la longitud o del volumen del material, resultante de cambios del contenido de humedad, de la temperatura y cambios químicos.
- **Control de calidad:** Acciones realizadas por el productor o el contratista, a fin de proveer un control sobre lo que se está haciendo y sobre lo que se está suministrando, para que las normas de buenas prácticas de obra se sigan.
- **Compactado:** Material que se encuentra condensado, resumido o apretado, sin espacios libres o poros.
- **Corrosión:** Deterioro del metal por la reacción química, electroquímica o electrolítica.
- **Curado:** Proceso, a través del cual se mantienen el concreto, mortero, grout o revoques frescos, en la condición húmeda y a una temperatura favorable, por el periodo de tiempo de sus primeras etapas, a fin de que se desarrollen las propiedades deseadas del material. El curado garantiza la hidratación y el endurecimiento satisfactorios de los materiales cementantes.
- **Deformímetro:** Instrumento que muestra las diferencias superficiales, deformaciones, que puede presentar una pieza.
- **Dosificación:** Proceso de medición, por peso o por volumen, de los ingredientes y su introducción en la mezcladora para una cantidad de concreto, mortero, grout o revoque.
- **Ductilidad:** Relación entre la deformación unitaria última y la deformación alcanzada para un f_c máximo
- **Durabilidad:** Capacidad del concreto, mortero, grout o revoque de cemento portland de resistir a la acción de las intemperies y otras condiciones de servicio, tales como ataque químico, congelación-deshielo y abrasión.
- **Endurecimiento rápido:** Desarrollo rápido de la rigidez en la pasta de cemento hidráulico, mortero, grout, revoque o concretos frescos.
- **Estado saturado superficialmente seco:** Cuando todos los poros del agregado están llenos de agua, pero seco superficialmente.
- **Fraguado:** Grado en el cual el concreto fresco perdió su plasticidad y se endurece.
- **Granulometría (gradación):** Distribución del tamaño de las partículas de agregado, que se determina por la separación a través de tamices normalizados.
- **Híbrido:** Que es producto de elementos de distinta naturaleza.
- **Hidratación:** Es la reacción entre el cemento hidráulico y el agua, a través de la cual se forman nuevos compuestos que confieren resistencia al concreto, mortero, grout y revoque.



- **INEI PERU:** El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) es el órgano Rector de los Sistemas Nacionales de Estadística e Informática en el Perú.
- **Masa específica:** Masa por unidad de volumen, peso por unidad de volumen al aire, por ejemplo, en kg/m³.
- **Masa unitaria (masa volumétrica, densidad):** Masa volumétrica del concreto fresco o del agregado, que normalmente se determina pesándose un volumen conocido de concreto o agregado (la densidad a granel o suelta de los agregados incluye los vacíos entre las partículas).
- **Material cementante (material cementoso):** Cualquier material que presente propiedades cementantes o que contribuya para la formación de compuestos hidratados de silicato de calcio. En el proporcionamiento del concreto se consideran como materiales cementantes: cemento portland, cemento hidráulico mezclado, ceniza volante, escoria granulada de alto horno molida, humo de sílice, arcilla calcinada, metacaolinita, esquisto calcinado y ceniza de cáscara de arroz.
- **Materia orgánica:** Conjunto de células animales y vegetales descompuestas total o parcialmente por la acción de microorganismos.
- **Módulo de finura (mf):** Factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100.
- **Plasticidad:** Aquella propiedad de la pasta, concreto, mortero, grout o revoque fresco que determina su trabajabilidad, resistencia a deformación o facilidad de moldeo.
- **Portland:** Cemento hidráulico de silicato de calcio que se produce por la pulverización del Clinker de cemento portland y normalmente también contiene sulfato de calcio y otros compuestos. (Véase también cemento hidráulico).
- **Probetas:** Pieza sometida a diversos ensayos mecánicos para estudiar las propiedades del material.
- **Puzolana:** Materiales silíceos o silíceos y aluminosos, tales como la ceniza volante o el humo de sílice, que, por sí mismos, poseen poco o ningún valor cementante, pero que cuando están finamente molidos y en presencia de agua, reaccionan con el hidróxido de calcio a temperaturas normales, para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.
- **Sangrado (exudación):** Flujo del agua de la mezcla del concreto fresco, causado por el asentamiento de los materiales sólidos de la mezcla.



- **Segregación:** Separación de los componentes del concreto fresco (agregados y mortero), resultando en una mezcla sin uniformidad.
- **Slump:** Establece la determinación del asentamiento del concreto fresco en laboratorio como en campo. Este método consiste en colocar una muestra de concreto en un molde en forma de cono trunco y de acuerdo a procedimientos tales como medidas de desnivel con referencia al molde de cono trunco establecer valores que servirán para encontrar el asentamiento.
- **Standard:** Que es lo más habitual o corriente, o que reúne las características comunes a la mayoría.
- **U.S. bureau of reclamation:** La Oficina de Reclamación de los Estados Unidos (USBR), y anteriormente el Servicio de Reclamación de los Estados Unidos (que no debe confundirse con la Oficina de Recuperación y Aplicación de la Minería de Superficie), es una agencia federal del Departamento del Interior de los Estados Unidos, que supervisa la gestión de los recursos hídricos.
- **Vacíos de aire:** Vacíos de aire atrapado (aire ocluido) o burbujas de aire incluido en el concreto, mortero o grout. Los vacíos atrapados normalmente tienen un diámetro mayor que 1 mm y los vacíos incluidos son menores. La mayoría de los vacíos atrapados se debe remover a través de vibración interna, plantillas vibratorias o varilladas.
- **Vibración:** Agitación de alta frecuencia del concreto fresco a través de aparatos mecánicos, con propósitos de consolidación.



7. Conclusiones

Conclusión N° 01

Se ha demostrado la hipótesis general: “Al hacer un análisis comparativo entre los valores de la ductilidad de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionado con 0.6 kg/m^3 y 1.0 kg/m^3 de fibras sintéticas frente a un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, estos aumentan.”

Referenciando a la tabla 97 donde se muestra el incremento porcentual en 28.14% para la primera dosificación de fibra sintética y un incremento de 55.58% para la segunda dosificación, ambos respecto a un concreto patrón.

Conclusión N° 02

Se ha demostrado la hipótesis específica N° 1: “Al hacer un análisis comparativo entre los valores de la resistencia a la compresión de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionado con 0.6 kg/m^3 y 1.0 kg/m^3 de fibras sintéticas frente a un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, estos aumentan.”

Haciendo mención a la tabla 85 donde se muestra el incremento porcentual en 7.41% para la primera dosificación de fibra sintética y un incremento de 14.81% para la segunda dosificación, ambos respecto a un concreto patrón.

Conclusión N° 03

Se ha demostrado la hipótesis específica N° 2: “Al hacer un análisis comparativo entre los valores del módulo de elasticidad de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionado con 0.6 kg/m^3 y 1.0 kg/m^3 de fibras sintéticas frente a un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, estos aumentan.”

Tal como se muestra en la tabla 89 donde se muestra el incremento porcentual en 4.23% para la primera dosificación de fibra sintética y un incremento de 12.66% para la segunda dosificación, ambos respecto a un concreto patrón.

Resumen de conclusiones

Podemos concluir que, las tres variables analizadas; la ductilidad, como variable principal, la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad aumentan sus valores, en diferentes proporciones como se detalla anteriormente, al ser reforzadas con fibras sintéticas.



8. Recomendaciones

Recomendación N° 01:

Se recomienda realizar investigación en el análisis comparativo del comportamiento estructural de diferentes edificaciones con los valores de módulo de elasticidad propuesto por la norma E060 y con los valores calculados con el ensayo que propone el ASTM C469.

Recomendación N° 02:

Se recomienda realizar investigaciones de modificar las proporciones del concreto incluyendo refuerzo de fibra sintética, analizando así su comportamiento en diferentes elementos estructurales.

Recomendación N° 03:

Se recomienda realizar investigaciones en análisis comparativo de elementos estructurales elaborados con concreto y acero de temperatura frente a un concreto adicionado con fibras sintéticas.

Recomendación N° 04:

Se recomienda realizar investigaciones en análisis comparativo para las propiedades de resistencia a la flexión, y resistencia a la tracción del concreto adicionado con fibras sintéticas frente a un concreto patrón.

Recomendación N° 05:

Se recomienda a la Universidad Andina del Cusco implementar con deflexómetros electrónicos que puedan ser sincronizados en tiempo real con el equipo universal, tales como el medidor de deformaciones electrónico conocido LVDT (Linear Variable Differential Transformer) con el cual se miden las deformaciones verticales, estas deformaciones se registran automáticamente por medio de una computadora conectada al medidor, por lo tanto por medio de un programa se puede graficar la curva $\sigma - \varepsilon$ y calcular al mismo tiempo el módulo de elasticidad.

Recomendación N° 06:

Se recomienda, para la adición de fibras sintéticas al concreto, realizar este procedimiento una vez se tenga la mezcla convencional lista, entonces se agregan las fibras sintéticas y se mezcla por un tiempo de 2 min aproximadamente para obtener una mezcla homogénea.



Recomendación N° 07:

Se recomienda, que para el mezclado de concreto en obra se elaboren moldes de acorde a lo calculado en las proporciones del diseño de mezclas, esto para garantizar la calidad de concreto, debido a que los valores calculados no siempre serán números enteros, en su mayoría con decimales.



9. Referencias

Abanto Castillo. (s.f.). *Tecnología del concreto*. Lima: San marcos.

Abunahman, S. A. (2005). *Curso básico de Ingeniería legal y de tasaciones*. Venezuela: Miguel Camacaro Pérez.

Aguilar Huricayo Cristhian Bartho, Pilares Vargas Alexander. (2018). *“Análisis comparativo de las magnitudes de las propiedades mecánicas: resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión, de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con dosificación estándar, concreto reforzado con 20 kg/m^3 de fibras de ac.* Cusco: UAC.

Alegre Gago, G. (2017). *“Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado.”*. Lima: PUCP.

ASTM C39. (2004). *Standard test method for Compressive strength of cylindrical concrete specimens*. EE. UU.

Burgos Namuche, M. (2007). *“Estudio de la metodología “diseño por capacidad” en edificaciones aporricadas de concreto armado para ser incorporada a la Norma Peruana E-060 como alternativa de diseño”*. Lima: UNI.

C469, A. (2002). *Standard test method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. EE.UU.

Cemento Frontera. (2018). *Ficha técnica cemento frontera*.

concreto, 3. e. (11 de Octubre de 2013). *360 en concreto*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/que-es-concreto-reforzado-con-fibras>

Fibrenamics. (2016). *Refuerzos en el concreto*. Obtenido de Fibrenamics: <https://www.web.fibrenamics.com/es/conocimiento/areas-de-aplicacion/refuerzo-de-concreto/>

Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGraw-hill.

Lopez Roman, J. (2016). *“Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionado.”*. Mexico: UNAM.

Norma Técnica Peruana 339.033. (2015). *Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo*. Lima: INDECOPI.

Norma Técnica Peruana 339.035. (2009). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland*. Lima: INDECOPI.

Norma Técnica Peruana 339.185. (2013). *Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Lima: INDECOPI.

Norma Técnica Peruana 400.017. (2011). *Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados*. Lima: INDECOPI.



Norma Técnica Peruana 400.022. (2014). *Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino*. Lima: INDECOPI.

Norma Técnica Peruana 400.037. (2001). *Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*. Lima: INDECOPI.

Otazzi Passino, G. (2014). *Temas de concreto estructural I*. Lima: PUCP.

Park, R., & Paulay, T. (1971). *Estructuras de concreto reforzado*. Nueva Zelanda: LIMUSA.

Pasquel Carbajal, E. (1998). *Temas de tecnología del concreto*. Lima: San Marcos.

Paul. (11 de Junio de 2015). *Scrib*. Obtenido de Criterio de Chauvenet:
<https://es.scribd.com/doc/268405472/Criterio-Chauvenet>

Perú, I. N. (2010). Aspectos Metodológicos. *Victimización en el Perú*, 179.

Quiroz Crespo, M., & Salamanca Osuna, L. (2006). *Tecnología del Hormigón*. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.

Reglamento nacional de edificaciones. (2010). *E060 concreto armado*. Lima.

Riobóo, L. M. (2008). *Estadística Básica*. Lima: UNI.

Rivva Lopez, E. (1992). *Diseño de mezclas*. Lima.

Rivva Lopez, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*. Lima.

Rodríguez, J. L. (2011). *Fundamentos básicos de Metrología Dimensional*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

Sanchez Laparade. (2009). *Concreto reforzado con fibras*. Mexico: UNAM.

Soria Santamaria, F. (1962). Puzolanas y cementos puzolánicos. *Materiales de construcción*, 47-59.

Universidad Nacional Autónoma de México. (2013). *Propiedades secciones de concreto reforzado*. Mexico: UNAM.