

INFLUENCIA DEL AIRE INCORPORADO CON CEMENTO PORTLAND IP, EN UN CONCRETO EXPUESTO A CLIMA DE INVIERNO EN LA CIUDAD DE PUNO

Ing. Henry Antonio Condori Espinoza⁽¹⁾ - Ing. Carlos Fredy Holguín Holguín⁽²⁾ - Ing. Mariano Roberto García Loayza⁽³⁾

RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en la realización de un estudio específicamente para las condiciones climáticas de las ciudades ubicadas en la periferia lacustre (ciudad de Puno), determinando de esta manera el comportamiento del concreto frente a la acción del clima de invierno de la ciudad de Puno y la adición de aire en el concreto, hallando de esta manera las proporciones adecuadas de inclusores de aire que deben utilizarse en obra, evaluando la variación en la trabajabilidad, resistencia a la compresión y durabilidad del concreto.

1. INTRODUCCIÓN

En todas las obras de infraestructura, que se encuentran ubicadas a nivel del Lago Titicaca (3827 msnm), donde se viene empleando el concreto de cemento Portland tipo IP, específicamente en la ciudad de Puno; se vienen presentando Problemas de fisuras en la elaboración del concreto, debido básicamente al congelamiento producido por las heladas, lo que comúnmente se conoce como el INVIERNO ALTIPLÁNICO, comprendido entre los meses de Abril a Agosto; inclusive con el uso de aditivos incorporadores de aire, que por un mal empleo, finalmente no se logra el objetivo de contrarrestar el efecto nocivo de las heladas en el concreto, en vista que las cantidades recomendadas no compatibilizan con las temperaturas de nuestra zona.

En la Universidad Nacional del Altiplano se tienen, una serie de datos estadísticos, de resistencia a compresión correspondiente a concretos colocados en la Ciudad de PUNO, lo cual se presenta en el gráfico 1.1, donde se muestra la temperatura media y la resistencia media de los concretos en cada uno de los intervalos analizados.

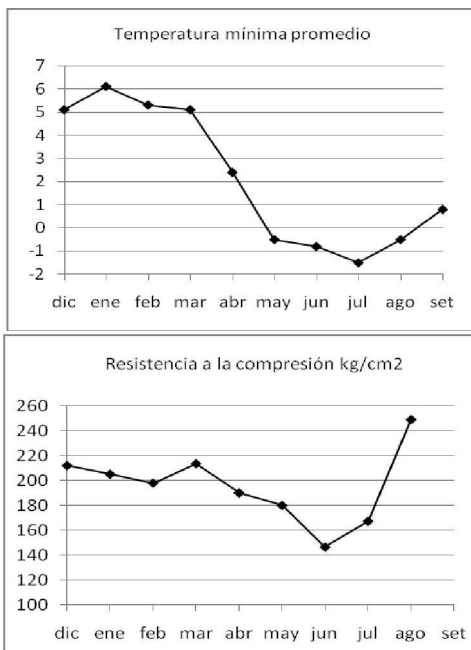


Gráfico 1.1: Evolución de la temperatura y resistencia a lo largo del año 2008 [Elaboración Propia].

- (1) Experiencia en obras viales, hidráulicas y otras, actualmente docente de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- (2) Experiencia en las ramas de Estructuras y Obras Viales. Actualmente Residente de Obra - Municipalidad Distrital de Crucero-Puno.
- (3) Experiencia en obras viales, hidráulicas y otras, actualmente docente de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno.

En el citado gráfico se observa, que al periodo anual de mas bajas temperaturas coincide con el periodo de mas bajas resistencias a la compresión del concreto, por lo cual podemos apreciar un problema debido a las temperaturas de Invierno de la Ciudad de Puno, problema que podría radicar la solución en la optima utilización de aditivos incorporadores de aire.

2. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO

2.1 Análisis de la Problemática

Algunos de los problemas específicos en relación al uso de concreto en climas fríos son los siguientes. Una baja temperatura ambiental tiene como consecuencia un aumento en los tiempos de fraguado (tanto inicial como final), disminución en la tasa de desarrollo de resistencia y un daño en el concreto endurecido por congelación del agua contenida en su interior.¹ La presión interna provocada por el aumento del volumen del agua al congelarse (cercano a un 9%) puede provocar destrucción irreparable.² Como resultado de todo lo anterior, la temperatura ambiental baja puede afectar adversamente las propiedades mecánicas y de servicio del concreto endurecido.

2.2 Estudio del Clima de la Ciudad de Puno

En los estudios del Ing. Enrique Pasquel Carvajal se ha visto la no presencia de un clima frío en la Ciudad de Puno "TECNOLOGIA DEL CONCRETO EN OBRAS EN ALTURA DEL PERU", pero se debe tomar medidas especiales siempre que la temperatura ambiente descienda bajo los 5°C. El concreto puede sufrir daños considerables cuando la temperatura decrece al punto que el agua contenida en mezclas frescas o en concretos jóvenes se congela, fenómeno que se presenta en la ciudad de Puno.

Antes de utilizar cualquier tipo de aditivo para contrarrestar los efectos del clima en las propiedades del concreto, es necesario hacer un estudio del clima de la localidad, de esta forma se podrá lograr un concreto durable y con la resistencia a la compresión requerida.

Se ha registrado las temperaturas máximas y mínimas diarias de los meses de Junio, Julio y Agosto del año 2008, etapa en la que se ha sometido al proceso de curado las probetas de prueba, a continuación se presenta los registros obtenidos:

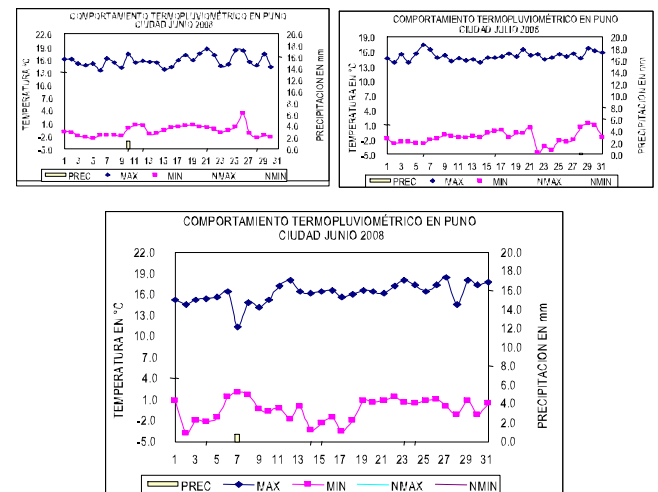


Gráfico 2.1: Comportamiento termopluviométrico en la ciudad de Puno 2008 [Boletín SENAMHI Junio 2008]

Podemos llegar a la conclusión de que el día, en el que se han producido las temperaturas más bajas, vendría a ser el 22 de Julio del 2008, para lo cual se ha registrado las temperaturas a lo largo de todo este día, lo cual mostramos en el siguiente cuadro.

Día 22/07/08

07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
3.7	3.6	6.1	9.5	11.8	12.6	12	11.9	12.6	11.9	10.7	7.4

Noche 22/07/08

19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00
4.9	5.4	4.7	3	2.9	1.5	0	-0.1	-1.1	-1.9	-3.2	-4.6

Tabla 2.1: Variación de la temperatura en el transcurso del 22/07/08 [Datos SENAMHI]

En el día mas frío producido en el año, el 40 % del tiempo tenemos clima frío a templado, en que la temperatura ambiente oscila entre 8 y 10 °C, un 40% del tiempo las temperaturas ambientales varían entre 0 y 10 °C lo cual se puede considerar como medianamente frío y un 20% la temperatura ambiental cae por debajo de 0 °C, constituyendo el clima frío.

Debido a este estudio podemos concluir en la no presencia de un clima frío severo en la ciudad de Puno, ya que no se ven las temperaturas glaciares de otras latitudes del planeta, para lo cual es mas correcto ubicarla entre un clima moderado o suavemente frío.

2.3 Condiciones Presentes en el Entorno de Trabajo

Según lo enmarcado podemos ver las siguientes condiciones presentes en el entorno.

- Baja temperatura ambiental en las noches
- Baja temperatura del concreto en las noches
- Baja humedad relativa
- Velocidad del viento alto

Algunos problemas potenciales del concreto en estado fresco son los siguientes:

- Incremento en los tiempos de fraguado.
- Disminución en la tasa de desarrollo de resistencia.
- Incremento en la tendencia de agrietamiento por influencia de gradiente térmico

Por otro lado, el concreto en estado endurecido tiene los siguientes problemas:

- Pérdida de resistencia a edades de 28 días y posteriores.
- Tendencia a la retracción por secado y al agrietamiento.
- Reducción de la durabilidad.
- Variación en la apariencia superficial.

Factores que complican las operaciones de concreto en climas fríos son los siguientes:

- La utilización de cementos Portland IP de bajo calor de hidratación.
- El uso de aditivos, sin el estudio adecuado del clima local.
- El diseño de secciones estructurales estrechas.
- Necesidades económicas de continuar los trabajos de concretado en ambientes muy fríos.

2.4 Condiciones Presentes en el Concreto debido al Aire Incorporado

A mayor cantidad de aire incorporado se tienen los siguientes efectos en las propiedades del concreto.

- Mayor durabilidad a los ciclos de congelamiento y deshielo.
- Mayor reducción de la segregación y exudación del concreto.
- Mayor reducción de la resistencia a la compresión del concreto (1% por cada 5% de AI).
- Mayor aumento en la trabajabilidad del concreto (6% de aire total produce un aumento de 2" en la trabajabilidad. (según ábaco del Ing. Enrique Riva Lopez - Diseño de Mezclas)).

Ha de esperarse mayor cantidad de Aire en el concreto cuando:

- Exista una mayor cantidad de Agregado fino retenido entre las mallas N° 30 y N° 50.
- Mejor Graduado sea el agregado Grueso.
- La no utilización de un Cemento Pórtland Tipo IP de alta finura.

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Materiales Utilizados y su Composición

Los materiales utilizados en esta investigación han pasado las normas ASTM para la fabricación del concreto.

En lo referente al cemento, el utilizado en la ciudad de Puno es del Tipo IP marca Rumi con un alto contenido de silicato tricálcico, lo cual nos hace llegar a la conclusión de que el comportamiento del su ritmo de hidratación será similar a un cemento tipo IP, por consiguiente las variaciones obtenidas en la temperatura interna del concreto, serán producto únicamente de las condiciones climáticas de la ciudad de Puno.

El Cemento Tipo IP posee una alta finura producto de la inclusión de la puzolana en el cemento, lo cual nos hace pensar que se requerirá mayores cantidades de aditivo para lograr las cantidades de aire requeridas.

3.2 Diseño de Mezclas

Se ha optado por el método de modulo de fineza en el diseño de mezclas, puesto que considera la granulometría de los agregados, en la determinación de las proporciones de los materiales y una resistencia a compresión promedio de 294 kg/cm² ya que no poseemos una desviación estándar que podamos aplicar a esta investigación.

Tomando en cuenta que la Resistencia a la Compresión Promedio requerida, es que escogemos la cantidad de cemento correspondiente a 0.48 para lo cual se ha efectuado 4 mezclas de prueba variando la relación a/c, lo cual nos da como resultado una relación agua cemento de 0.48.

Descripción	Pesos secos kg/m ³	Pesos húmedos kg/m ³
Cemento	422.997	422.997
Ag. fino	578.664	595.913
Ag. grueso	930.021	948.673
Agua	204.400	232.37
Aire	0.02	0.02

Tabla 3.1: Proporciones de los materiales definitivos a emplearse

3.3 Modificación de las Proporciones de la Mezcla por Inclusión de Aire, Manteniendo Invariable la Cantidad de Cemento

Para la presente investigación, es necesario incorporar aire a una mezcla ya diseñada, ello llevara a modificar las proporciones de los materiales de la mezcla de concreto, a excepción de la cantidad de cemento y agregado grueso por metro cúbico de concreto, esto con el fin de evaluar la variación de la resistencia para distintas cantidades de aire incorporado, sin variar la cantidad de cemento.

No se lograron resultados satisfactorios con la recomendación del ábaco del Ingeniero Enrique Riva López - Diseño de Mezclas, en la que se recomienda una reducción de agua de 11.55 litros, los asentamientos obtenidos fueron del orden de 5.5" y el aire total en todos los casos de 9%.

3.2 Mezclas Definitivas

Ya que no se lograron resultados satisfactorios con la primera mezcla de prueba se procedió a realizar 10 mezclas de prueba para cada cantidad de aire incorporado.

La tabla 3.17, nos muestra el cálculo realizado en la obtención de las proporciones definitivas de las mezclas correspondientes a 6%, 5% y 3.5% de aire total en el concreto, con disminuciones de agua de 15, 13.65 y 12.30 lts correspondientemente.

Corrección de las proporciones			6	5	3
Cantidad de aditivo		%			
Disminución de agua	lts		15	13.65	12.3
Peso específico del agregado fino	kg/m ³		2290	2290	2290
Aire total	m ³		0.06	0.05	0.035
Aire atrapado	m ³		0.018	0.018	0.018
Disminución de agua	m ³		0.015	0.01365	0.0123
Corrección del vol. del ag. fino	m ³		0.027	0.018	0.005
Corrección en peso del ag. fino	kg		61.830	42.022	10.763
Pesos secos					
Cemento	kg		423	423	423
Ag. fino	kg		516.83	536.64	567.9
Ag. grueso	kg		930.02	930.02	930.02
Agua	lts		189.4	190.75	192.1
Peso de un m3 de concreto		Kg	2119.55	2141.85	2176.27

Tabla 3.2: Modificación de las proporciones de la mezcla para distintas cantidades de aire.

4. RESULTADOS

4.1 Proporciones Finales de los Materiales

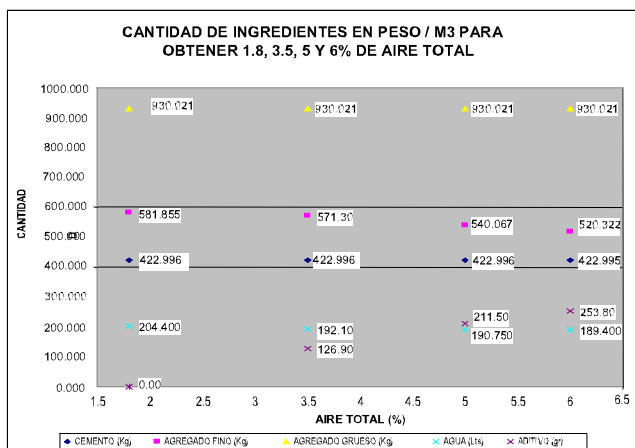


Gráfico 4.1: Proporciones de los materiales para distintas cantidades de aire en el concreto.

Vemos la comparación de los materiales para los distintos diseños de mezclas, podemos observar como el agregado grueso no a sufrido variación para ninguna de las mezclas, el agregado fino sufre una disminución producto del aumento de la cantidad de aire en el concreto, la cantidad de cemento no varia en ninguna de las mezclas, lo cual nos asegura que la variación en la resistencia del concreto va a ser producto del clima o de la inclusión de aire en el concreto y no por una variación en la cantidad de cemento.

4.2 Asentamiento

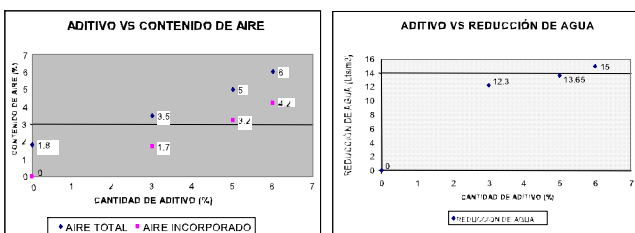


Gráfico 4.2: Proporciones de los materiales para distintas cantidades de aire en el concreto.

Se puede observar las reducciones de agua que generan las distintas cantidades de aditivo incorporador de aire halladas en las mezclas de prueba, todos las pruebas de asentamiento a dado como resultado 3", el aumento en la trabajabilidad se a hallado a través de la reducción del agua producida por el aumento de aire

en el concreto (5 litros de agua aumenta en 1 pulg. la trabajabilidad del concreto y analizando para 6% de aire total se halla una reducción de 15 litros de agua lo cual significaría un aumento en la trabajabilidad de 3").

4.3 Medición de Aire en el Concreto

Se ha utilizado el método volumétrico y gravimétrico para la medición del aire en el concreto para las distintas mezclas ensayadas, el equipo utilizado en el método volumétrico fue por elaboración propia, los resultados del método gravimétrico validaron los resultados del método volumétrico.



Imagen 4.1: Ensayo de medición de aire por el método volumétrico y gravimétrico.

4.4 Resistencia a la Compresión vs Clima de Invierno

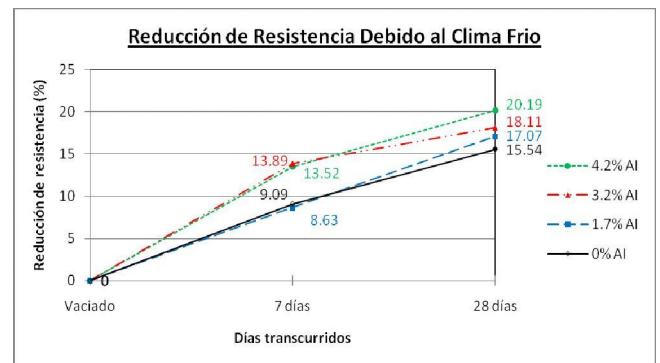


Gráfico 4.3: Reducción de la resistencia a la compresión debido al clima de invierno.

En todos los casos se observa un notable efecto del clima de invierno en la ciudad de Puno en la resistencia a la compresión del concreto, hallándose reducciones de 15.54% a 20.19% en concretos sin aire incorporado a 6% de aire total respectivamente.

4.5 Resistencia a la Compresión vs Aire Total en el Concreto

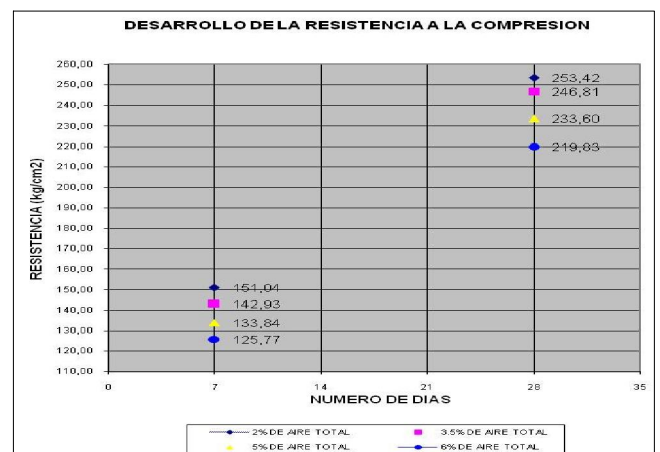


Gráfico 4.4: Reducción de la resistencia a la compresión debido a la inclusión de aire en el concreto.

Podemos observar como la resistencia a la compresión disminuye con forme aumenta la cantidad de aire en el concreto, tanto a los 7 como a los 28 días.

4.6 Evaluación del Gradiente Térmico Interno del Concreto

Se ha fabricado para el presente trabajo 4 losas aligeradas para evaluar el gradiente térmico interno del concreto, con 9 puntos de medición cada una.

RESUMEN DEL ANALISIS ESTADISTICO GRADIENTE DE TEMPERATURAS ZONA A y B		TEMPERATURA AMBIENTAL	GRADIENTE DE TEMPERATURA PROMEDIO (°C)							
			ZONA A (Espesor 20cm)				ZONA B (Espesor 5cm)			
			AIRE TOTAL				AIRE TOTAL			
HORA		1.8%	3.5%	5%	6%	1.8%	3.5%	5%	6%	
15:30		14.0	16.9				14.8			
16:30		15.0	14.8			16.0	11.0		14.6	
17:30		10.5	13.2	15.7		15.2	9.2	15.0	10.5	
18:30		9.0	11.1	14.8	15.0	13.9	7.5	11.5	13.0	
19:30		9.0	10.3	12.7	13.1	12.7	6.6	6.1	5.6	
20:30		8.0	8.6	10.9	10.4	10.2	4.9	4.8	3.8	
21:30		6.5	7.8	10.0	9.1	9.1	4.6	4.1	3.3	
22:30		6.5	7.0	8.9	8.1	8.9	3.1	3.2	2.5	
Temperatura Máxima		15.0	16.9	15.7	15.0	16.0	14.8	15.0	14.6	
Temperatura Mínima		5.5	7.0	8.9	8.1	8.9	3.1	3.2	2.5	
Temperatura Máxima Promedio		15.9 °C				14.4 °C				
Temperatura Teórica del Concreto		13.5 °C								

Gráfico 4.5: Evaluación de a temperatura interna del concreto en losas aligeradas.

En la tabla observamos que la temperatura teórica del concreto en las cuatro losas, es de 13.5 grados Celsius, que es una temperatura favorable para la adquisición de resistencia, la temperatura inicial de colocación de colocación del concreto en todos los casos siempre a sido mayor a la temperatura teórica, este aumento producto del calor de hidratación del cemento y viéndose un mayor aumento en la sección de 20 cm de espesor.

Se ha visto en todos los casos que la sección de 5 cm a registrado temperaturas inferiores a las de la sección de 20 cm, esto debido a que una sección mas delgada pierde mas rápidamente temperatura.

Se puede observar que la temperatura en el momento del fraguado final, es aceptable para las secciones de 20 cm (superior a los 10 °C), mas no siendo así en las secciones de 5 cm.

4.5.1 Evaluación de la Durabilidad del Concreto ante la Acción de Congelamiento y Deshielo

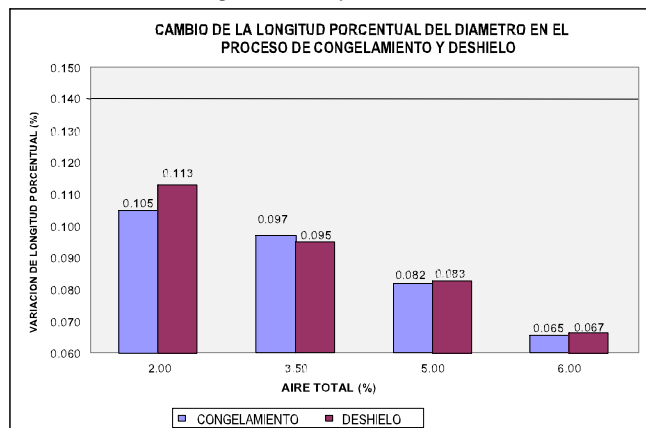


Gráfico 4.6: Resultados de la evaluación de la durabilidad del concreto a la acción de congelamiento y deshielo.

Se puede observar que las muestras con 2% de aire total, tanto en el proceso de congelamiento y deshielo, por lo tanto se dio por finalizado el ensayo según Norma ASTM C666, obteniéndose como resultado que para todas las cantidades de incorporación de aire se obtiene una deformación menor a 0.1% considerándose de esta manera mas durables y que disminuirán los efectos negativos producidos por las heladas, frente a las muestras sin aire incorporado.

5. CONCLUSIONES

- En la estación de invierno en la ciudad de Puno, las heladas producen una reducción del 15.54% al 20.19% de la resistencia a la compresión del concreto.

DATOS	RESULTADOS				% DE REDUCCIÓN DE LA COMPRESIÓN			
	1.80%	3.50%	5%	6%	1.80%	3.50%	5%	6%
AIRE TOTAL	1.80%	3.50%	5%	6%	1.80%	3.50%	5%	6%
AIRE INCORPORADO	0	1.7	3.2	4.2	0%	1.70%	3.20%	4.20%
7 días	sumer.	151.04	142.93	133.84	127.47	0	0	0
28 días	sumer.	255.09	246.81	232.16	221.17	0	0	0
7 días	interp.	137.31	130.59	115.24	110.24	9.09	8.63	13.89
28 días	interp.	215.44	204.67	190.12	176.51	15.54	17.07	20.19

- 6% de aire total, aumenta la trabajabilidad en 3 pulgadas.
- 0.06 Kg de aditivo (Incorporador de Aire) por 100 Kg de Cemento, genera 6% de aire total en el concreto.
- La variación de la gradiente de temperatura del concreto, en las losas aligeradas fue la siguiente.

Contenido de aire total	Sección 20 cm	Sección 5cm
1.80%	16.9 a 7°C	14.8 a 3.1 °C
3.50%	15.7 a 8.9 °C	15 a 3.2 °C
5%	15 a 8.1 °C	13 a 2.5 °C
6%	16 a 8.9 °C	14.6 a 3°C

- La inclusión de aire total comprendido entre 3.5 a 6% disminuyo los efectos negativos producidos por las heladas sobre el concreto expuesto en la ciudad de Puno.

Contenido de Aire Total	Cambio de longitud porcentual
1.8%	0.105%
3.5%	0.097%
5.0%	0.082%
6.0%	0.065%

- Las inclusiones de aire incorporado de 1.7, 3.2 y 4.2%, disminuyeron la resistencia a la compresión del concreto, en 5, 11.76, 18.07% para muestras a la Intemperie y de 3.24, 8.99, y 13.30 para muestras sumergidas.

DATOS	RESULTADOS				% DE REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
	1.80%	3.50%	5%	6%	3.50%	5%	6%
AIRE TOTAL	1.80%	3.50%	5%	6%	3.50%	5%	6%
AIRE INCORPORADO	0	1.7	3.2	4.2	1.70%	3.20%	4.20%
7 días	sumer.	151.04	142.93	133.84	127.47	5.37%	11.39%
28 días	sumer.	255.09	246.81	232.16	221.17	3.25%	8.99%
7 días	interp.	137.31	130.59	115.24	110.24	4.89%	16.07%
28 días	interp.	215.44	204.67	190.12	176.51	5.00%	11.75%

- Se concluye que 3.5% de aire total, es la cantidad óptima a ser utilizada considerando la durabilidad y resistencia del concreto ya que la variación de longitud porcentual, no excede del 0.1% a la vez se tiene una disminución de la resistencia a la compresión de 253.42 a 246.81 kg/cm² equivalente a 3.24% la cual es aceptable para F'c = 210 kg/cm²

6. BIBLIOGRAFÍA

- Enrique Riva López. "Diseño de Mezclas".
- Normas ASTM C173, C138 y C666
- A.M. Neville "Tecnología del Concreto".