

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**“CONTROL DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y  
ENDURECIDO EN CLIMA FRÍO”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**MARVIN RONY VASQUEZ JAUREGUI**

**Lima- Perú**

**2015**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por las bendiciones que me ha dado en mi vida.

A mi alma mater por ser partícipe de mi formación.

A mis padres Alejandro y Amalia por su amor incondicional.

A mis hermanos y familiares por su comprensión.

A todas las personas por su apoyo, por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE FOTOS</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO I: ANTECEDENTES</b>	<b>8</b>
1.1 DESARROLLO DE LA MINERÍA	8
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO TOROMOCHO	9
1.3 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS	10
1.3.1 Ubicación	10
1.3.2 Geomorfología y Relieve	11
1.3.3 Clima y Meteorología	11
<b>CAPÍTULO II: CONCRETO EN CLIMA FRÍO</b>	<b>14</b>
2.1 MARCO TEÓRICO	14
2.2 CONGELAMIENTO EN EL CONCRETO	15
2.3 DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS EN CLIMAS FRÍOS	15
<b>CAPÍTULO III: CONTROL DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO</b>	<b>19</b>
3.1 CONTROL DEL CONCRETO FRESCO EN OBRA	19
3.1.1 Marco Teórico	19
3.1.2 Ejecución de la actividad	20
3.2 CONTROL DE TEMPERATURA DEL CONCRETO EN OBRA	23
3.2.1 Marco Teórico	23
3.2.2 Ejecución de la actividad	25
<b>CAPÍTULO IV: CONTROL DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO</b>	<b>36</b>
4.1 DESENCOFRADO Y CURADO DE LAS ESTRUCTURAS	36
4.1.1 Marco Teórico	36
4.1.2 Ejecución de la actividad	40
4.2 ENSAYO A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS	41

4.2.1	Marco Teórico	41
4.2.2	Ejecución de la actividad	43
	<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>45</b>
5.1	CONCLUSIONES	45
5.2	RECOMENDACIONES	46
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>47</b>
	<b>FOTOS</b>	<b>48</b>
	<b>FIGURAS</b>	<b>52</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>54</b>

## RESUMEN

A través del presente informe planteamos una técnica para curar y proteger el concreto cuando realizamos trabajos en lugares donde hay las condiciones climatológicas y temperaturas correspondientes a climas fríos. La técnica planteada consiste en proteger las estructuras de concreto creando un microclima y controlando en varios intervalos de tiempo la temperatura del concreto y del ambiente; de manera que optimicemos el tiempo de protección usando termómetros digitales, cánulas de cobre y termocuplas. Asimismo se controla en el proceso constructivo los gradientes térmicos que interactúan entre el concreto y el ambiente de manera que evitemos los agrietamientos en la estructura.

Cuando el concreto se congela el agua libre se convierte en hielo aumentando su volumen que en estado sólido rompe la débil adherencia entre las partículas del concreto, cuando aún no se ha iniciado el proceso de endurecimiento. Asimismo debido a las bajas temperaturas se produce una disminución de la actividad o reacción química que el proceso de endurecimiento del concreto llegar a disminuir notablemente.

Por ende los ciclos de congelamiento y deshielo, pueden afectar gravemente la calidad final del concreto, aun cuando se haya iniciado el proceso de endurecimiento. Los climas fríos y muy secos afectan el concreto originando el secado, principalmente de su superficie.

El hecho de que cuando se realicen trabajos con concreto y en este caso en particular en climas fríos, no solo un buen diseño y buenos materiales empleados garantizan por si mismos que se obtenga un concreto durable. En tal sentido es necesario tomar medidas adecuadas para evitar efectos del congelamiento en el concreto fresco. Para tal fin es primordial realizar los procedimientos adecuados durante el mezclado, transporte, colocación, curado y protección del concreto, haciendo esto con un buen control de calidad y buenas prácticas constructivas; se puede conseguir prevenir los problemas.

## LISTA DE FOTOS

FOTO 1:	Chancadora primaria	48
FOTO 2:	Faja transportadora.	49
FOTO 3:	Pila de almacenamiento de mineral.	49
FOTO 4:	Área de molinos: Molinos Sag y de Bolas.	50
FOTO 5:	Área de flotación: Celdas de Flotación y de limpieza.	50
FOTO 6:	Área de espesadores y bombas de relave	51
FOTO 7:	Planta hidrometalurgia de molibdeno.	51
FOTO 8:	Trabajos Previos al vaciado de la Cimentación de 36.0 x 21.0 x 2.0m.	20
FOTO 9:	A la llegada del mixer se realiza los ensayos al concreto en estado fresco: Asentamiento y Contenido de aire.	21
FOTO 10:	Se toma los datos de la temperatura ambiente y temperatura del concreto a pie de obra.	21
FOTO 11:	Realización del ensayo de Asentamiento del concreto para verificar su fluidez (Slump).	21
FOTO 12:	Se toma parte de la muestra de concreto para verificar el contenido de aire.	22
FOTO 13:	Equipo medidor del contenido de aire.	22
FOTO 14:	Toma de lectura en el equipo medidor del contenido de aire.	22
FOTO 15:	Colocación de la carpa antes del Vaciado de concreto para protección del clima frío.	26
FOTO 16:	Interior de la carpa antes del vaciado de la Cimentación	26
FOTO 17:	Colocación de las Cánulas de Cobre en el Interior de la Cimentación (Anexo 4)	26

FOTO 18:	Inicio del vaciado controlando las condiciones climáticas.	27
FOTO 19:	En la colocación del concreto se debe mantener la temperatura adecuada, por ello se instalan reflectores y estufas.	27
FOTO 20:	Medición de la temperatura en el interior de la cimentación cada 3 horas luego de culminado el vaciado de la estructura (anexo 4)	27
FOTO 21:	En las cánulas se mide la Temperatura con unas Termocuplas (Sensor de Temperatura) instaladas para la toma de datos.	28
FOTO 22:	Medición de la Temperatura ambiente en el interior de la carpa con Termómetros Digitales Calibrados.	28
FOTO 23:	Luego de culminado el vaciado se mantiene el microclima de la estructura.	40
FOTO 24:	El microclima en el interior de la carpa se mantiene con reflectores y Estufas.	40
FOTO 25:	Se aplica un curador químico para evitar la pérdida de agua cuando el concreto se encuentra en estado endurecido.	41
FOTO 26:	Poza de curado a temperatura adecuada para el desarrollo de la resistencia de las probetas de concreto.	43
FOTO 27:	Probetas ensayadas para un adecuado control de su resistencia a los 7, 14, 28 días; utilizando Neopreno en la superficie de Contacto.	43

### LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	Localización del Proyecto Toromocho - Departamento de Junín – Perú	53
-----------	--	----

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la tesis formulada por el geógrafo peruano Dr. Javier Pulgar Vidal, en el Perú tenemos ocho regiones, dentro de las que destacamos: Costa o Chala (0-500msnm); Yunga (500-2300msnm); Quechua (2300-3500msnm); Sumi (3500-4000msnm); Puna (4000-4800msnm) y Janca o Cordillera (4800-6768msnm) que es la altura del nevado Huascarán, además de los climas de selva que son: Omagua (80-400msnm) y Rupa Rupa (400-1000msnm). Estas diferencias de alturas sobre el nivel del mar, implica que las temperaturas varíen, dando origen a los gradientes térmicos (variación entre la menor y mayor temperatura registrada) por ejemplo si tenemos una temperatura máxima de 24 °C y una temperatura de 10 °C, entonces el gradiente térmico es de 14 °C. Este gradiente térmico para una misma región puede variar dependiendo de la estación en la que estemos.

En consecuencia tendremos que diseñar obras que tengan diferentes consideraciones de diseño. No existe una receta para solucionar los problemas y las necesidades en infraestructura, es decir, que para cada proyecto dependiendo de su localización, al margen del diseño y los cálculos estructurales se tendrá que analizar sobre el correcto procedimiento constructivo porque tendremos dos interrogantes:

¿Porque el concreto no desarrolla resistencia en tiempos de heladas? Este es uno de los problemas álgidos en la región Quechua, y con mayor agudeza en las estaciones de invierno (Mayo, Junio, Julio y Agosto), y la explicación que tenemos es que el concreto no desarrolla resistencia debido a que la velocidad hasta llega a detenerse, las bajas temperaturas oscilan desde -8 °C hasta 20 °C en un periodo de 24 horas, y en las obras civiles trae consigo contracciones y extensiones en el concreto generando grietas y el resultado a corto plazo es evidente: concretos deteriorados y fragmentados ya que estas causas no permiten que el concreto tenga una buena durabilidad.

¿Los encargados que tienen la responsabilidad de la ejecución de obras en los meses citados toman conciencia de este problema?

El desconocimiento de este efecto, y que muchos profesionales pasan por alto, pone en riesgo las obras que se ejecutan en zonas a más 3000 msnm, muchas veces incurrimos en el error creando dar solución cuando "añadimos más



cemento a la mezcla" (solución errónea); esta desmerece los principios de tecnología del concreto.

Y es que la durabilidad del concreto, no es un concepto absoluto que dependa única y exclusivamente de un buen diseño de mezcla, sino que está en función del ambiente y de las condiciones de trabajo a las cuales lo sometamos.

En el libro Tópicos de Tecnología del Concreto del Ing. Enrique Pasquel Carbajal hace mención a los factores que afectan la durabilidad del concreto y entre las que se clasifica en cinco grupos: I) Congelamiento y descongelamiento; II) Ambiente Químicamente agresivo; III) Abrasión; IV) Corrosión de metales en el concreto y V) Reacciones químicas de los agregados. Además nos hace una explicación sobre el fenómeno que se produce por efecto de las bajas temperaturas tiene que ver con los componentes del concreto como son el cemento, agregados y el agua, indica:

El efecto sobre la pasta de cemento del concreto, existen dos teorías:

Primera Teoría "Presión Hidráulica": que considera, que dependiendo del grado de saturación de los poros capilares y poros de gel, de la velocidad de congelamiento y la permeabilidad de la pasta, al congelarse el agua en los poros, esta aumenta de volumen y ejerce presión sobre el agua aun en estado líquido, ocasionando tensiones en la estructura resistente que superan los esfuerzos últimos de la pasta, produciendo el fisuramiento, y posteriormente en la presencia de humedad constante agrietamiento.

Segunda Teoría " Presión Osmótica": es igual que la anterior, pero esta supone que al congelarse el agua en los poros cambia la alcalinidad del agua aún en su estado líquido, por lo que tiende a dirigirse a las zonas congeladas de alcalinidad menor para entrar en solución, lo que genera una presión osmótica del agua líquida sobre el agua sólida ocasionando presiones internas en la estructura resistente de la pasta con consecuencias similares a la primera teoría.

## CAPITULO I: ANTECEDENTES

### 1.1 DESARROLLO DE LA MINERIA

El Perú tiene grandes oportunidades para convertirse en mediano plazo en una de las economías más desarrolladas, gracias a su elevado potencial en recursos naturales, a su posición geográfica y a la capacidad de su recurso humano.

Ese desarrollo económico viene siendo impulsado desde hace dos décadas con reformas que alientan la inversión y que nos permite conquistar los mercados con nuestros productos, obtener beneficios e impulsar el crecimiento, reduciendo así la pobreza y la desigualdad y creando bienestar para millones de peruanos.

Las actividades como minería, energía e hidrocarburos, han permitido atraer inversiones, generar empleo digno, cadenas productivas, pequeñas empresas, convirtiéndose en socios estratégicos del Sector extractivo, comunidades y regiones.

"La minería responsable ha de convertirse en la palanca de nuestro desarrollo, de la mano con la inversión privada que es una de las variables esenciales de este crecimiento, para hacer realidad la perspectiva de desarrollo y de industrialización", señaló el Presidente Ollanta Humala en la Clausura de la 31° Convención Minera.

Es importante destacar que la minería juega un rol clave en el desarrollo de políticas y programas que buscan mejorar los servicios de salud, educación e infraestructura básica, erradicar la pobreza extrema y generar empleo digno.

La minería debe ser parte del esfuerzo por la construcción de los sueños de vivir en un país con educación, sin pobreza, con trabajo digno y con futuro para todos. En suma, un país con oportunidad, un país seguro, un país moderno.

"La nueva minera construye nuestro presente y cada año se incrementa nuestra cartera de proyectos a un ritmo de 35 por ciento alcanzando hoy un monto total de casi 60 mil millones de dólares. Para el 2016 se espera dejar encaminado el desarrollo del país", señaló el Presidente Ollanta Humala en la Clausura de la 31° Convención Minera; Por ende, la inversión minera permite la construcción de importantes obras de infraestructura y, al mismo tiempo, el crecimiento de la industria metalmecánica, construcción, servicios entre otros, con la consecuente generación de cientos de miles de puestos de trabajo.

## 1.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO TOROMOCHO

El Proyecto Toromocho consiste en una mina de tajo abierto con reservas de cobre y molibdeno, localizada en la parte central de los Andes del Perú; en el distrito de Morococha, provincia de Yauli, departamento de Junín (FIGURA 1). El Proyecto está localizado en un área que cuenta con una larga historia de operaciones mineras y que ha sido activamente explorada desde los años 60 por Cerro de Pasco Corporation, luego por Centromin y recientemente por Minera Perú Copper S.A. (ahora Minera Chinalco Perú S.A.), quien recibe la concesión de Centromin (ahora Activos Mineros) mediante un contrato de transferencia el 5 de mayo de 2008.

Minera Chinalco tiene planificado desarrollar el Proyecto Toromocho, el cual consistirá en la explotación a tajo abierto de un yacimiento de pórfido de cobre, con fracciones comerciales de molibdeno y plata, a un ritmo de extracción de 235,000 toneladas por día (tpd) de material (mineral, roca de desmonte y mineral de baja ley); equivalente a 2 700 millones de toneladas (Mt) de material proyectado sobre 32 años de minado. La tasa de procesamiento de mineral será de 117 200 tpd. A la fecha, las exploraciones geológicas y el planeamiento de mina han determinado que el depósito Toromocho contiene una reserva de 1 526 millones de toneladas de mineral con una ley promedio de cobre de 0,48%, una ley promedio de molibdeno de 0,019% y una ley promedio de plata de 6,88 gramos por tonelada, basado en una ley corte de aproximadamente 0,37% de cobre.

Las instalaciones proyectadas estarán emplazadas en las cuencas Morococha, Tunshuruco y Rumichaca.

La cuenca Morococha contiene el tajo abierto, el depósito de mineral de baja ley suroeste, los depósitos de desmonte oeste y sureste, la chancadora primaria, el taller mecánico y la infraestructura de mantenimiento, un depósito de combustible, el edificio de administración, área de acopio de suelo, caminos de acarreo y caminos de acceso. Además, la cuenca Morococha contiene las instalaciones de mina existentes y los depósitos de relaves asociados con las operaciones de Compañía Minera Argentum y Minera Austria Duvaz (y otras operaciones mineras históricas) y la ciudad de Morococha.

La cuenca Rumichaca contiene la faja transportadora principal, el complejo de la concentradora, los tanques de agua cruda y de proceso, una cantera de roca caliza (con depósitos de desmonte asociados) y un área de acopio de suelo, además del depósito de relaves en la cuenca Tunshuruco. A continuación se describirán las actividades previstas para la construcción y operación del Proyecto Toromocho.

Contará con una planta concentradora con los siguientes componentes:

- Chancadora primaria. (FOTO 1)
- Faja transportadora. (FOTO 2)
- Pila de almacenamiento de mineral. (FOTO 3)
- Área de molinos: Molinos Sag y de Bolas. (FOTO 4)
- Área de flotación: Celdas de Flotación y de limpieza. (FOTO 5)
- Área de espesadores y bombas de relave. (FOTO 6)
- Planta hidrometalurgia de molibdeno. (FOTO 7)

En el ANEXO 1 se presenta el cronograma de actividades previstas para las diferentes etapas de ejecución del Proyecto.

## 1.3 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

### 1.3.1 Ubicación

El Proyecto Toromocho está ubicado en los distritos de Morococha y Yauli, provincia de Yauli, departamento de Junín (FIGURA 1). La región en la que se encuentran las concesiones presenta una topografía accidentada, con altitudes que varían entre 4 400 y 5 000 m, exceptuando algunas cumbres aisladas como Yanashinga, que alcanza los 5 290 m de altitud o el nevado Anticonca de 5 120 m de altitud.

El acceso al área del Proyecto, se realiza desde la ciudad de Lima por la Carretera Central, a través de una vía asfaltada hasta Morococha (142 km), así como mediante el Ferrocarril Central (173 km). Ambas vías también unen la zona del Proyecto con la ciudad de La Oroya ubicada a aproximadamente 32 km por carretera y aproximadamente 35 km por ferrocarril.

### 1.3.2 Geomorfología y relieve

El área de estudio se encuentra dentro del ámbito geomorfológico de la Cordillera de los Andes. Está constituida por un conjunto de elevaciones que corren alineadas en cadenas paralelas. La Cordillera de los Andes, configura un gran macizo antiguo, que responde al clásico esquema de plegamiento en el Primario, erosión en el Secundario, formando dilatadas penillanuras y sobre elevación en bloques durante el Terciario debido a la Orogenia Andina, intercalado con grandes cuerpos intrusivos y con eventos volcánicos, conjunto que configura un relieve complejo.

En el marco de la zona del Proyecto, se encuentran manifestaciones de deglaciaciones recientes y modificaciones producidas por procesos periglaciares actuales. En toda el área, la mayor importancia la tienen los procesos periglaciares, como el creeping o reptación, solifluxión y deslizamientos de derrubios, que determinan la presencia de formas menores típicas del resultado de estos procesos.

Las formas que predominan gracias a estos procesos son los grandes taludes de derrubios, los cuales tapizan las laderas con derrubios muy finos producto de la intensa meteorización mecánica que caracteriza el área. Los conos de escombros y aluviales son muy numerosos, aunque sus dimensiones no son importantes.

### 1.3.3 Clima y meteorología

Presenta un clima montañoso típico de ambientes ubicados a grandes alturas como la sierra del Perú. Este clima está caracterizado principalmente por ser frío y seco, y por presentar dos temporadas claramente definidas: la época de lluvias, correspondiente al periodo comprendido entre los meses de octubre y marzo; y la época seca, correspondiente al resto de meses del año.

El factor más influyente que define el clima es su posición altitudinal (a aproximadamente 4 500 m de altitud en promedio). Otros factores considerados fueron la latitud (entre los 11° y 12° de latitud sur), y la continentalidad o posición con respecto al océano. Estos factores intervienen de manera determinante en los rasgos climáticos importantes tales como la amplitud térmica diaria y anual,

los regímenes eólicos así como en los niveles existentes de humedad, precipitación y evaporación.

Los registros de la estación meteorológica de Tuctu señalan una temperatura media mensual entre 4,0°C y 5,9°C; sin una variación anual significativa y con una temperatura promedio anual de 5,0°C. Esta escasa variabilidad es una característica propia de estas latitudes. Los meses que presentan los valores más altos de temperatura son mayo, julio, agosto y noviembre; con máximas mensuales promedio mayores a 12°C; mientras que los meses con las menores temperaturas son junio, julio y agosto; con medias mínimas mensuales de -2°C en promedio.

El promedio anual de radiación solar diaria para el periodo de registro es 4 627 Wh/m<sup>2</sup>. Esta información también señala un máximo para el promedio mensual de la radiación solar diaria de 5 479 Wh/m<sup>2</sup> en el mes de agosto y un mínimo de 3 838 Wh/m<sup>2</sup> en el mes de marzo.

Los vientos de la zona presentan características propias de sistemas eólicos de montaña y de valle (vientos locales) con un comportamiento acorde con las gradientes térmicas establecidas en el lugar, que determinan la intensidad de los movimientos de las masas de aire, y un comportamiento fuertemente influenciado por la configuración topográficas.

La variación de velocidad del viento a lo largo del día está determinada principalmente por los cambios de temperatura en el aire (calentamiento y enfriamiento asociado a los niveles de radiación solar), de esta forma, el comportamiento de este parámetro se caracteriza por presentar un nivel mínimo estable (velocidad promedio de 2,2 m/s) durante las horas de la madrugada y las primeras horas de la mañana. A partir de las horas matinales influenciadas por el calentamiento del ambiente, la velocidad del viento empieza a incrementarse hasta alcanzar el valor máximo 5,9 m/s en horas de la tarde.

En cuanto a la dirección del viento, se tiene que ésta varía significativamente a lo largo del día, producto de la naturaleza de los vientos de la zona (vientos de montaña y de valle). De esta forma, durante la madrugada y las primeras horas de la mañana, las masas de aire presentan un flujo que proviene de un rango amplio de direcciones: procedentes del oeste (O) al sur-suroeste (SSO) y del este-noreste (ENE). Desde horas de la mañana, esta variabilidad se reduce,

predominando las direcciones noreste (NE) y este-noreste (ENE), coincidiendo con los vientos más veloces, hasta horas de la tarde. Antes de la puesta del sol, conforme los vientos disminuyen gradualmente de intensidad, provienen del oeste (O) y del este-noreste (ENE).

La humedad relativa reportada varía entre 54,4% y 74,8%, como valores promedio durante la temporada de lluvia y entre 43,9% y 68,5%, como valores promedio durante la temporada seca. El valor de humedad promedio a lo largo del periodo de registro es de 62,2%.

El registro típico de precipitaciones durante el año presenta a los meses de enero y febrero como el periodo más lluvioso registrándose valores entre 88,4 y 132,3 mm y a los meses de junio y julio como el periodo más seco con valores entre 7,4 y 17,2 mm. Los valores de la precipitación promedio anual fueron de 782,0 mm en la estación Huascacocha; 850,9 mm en la estación Morococha; y 537,6 mm en la estación Pucará. Los valores anuales promedio de evaporación se encuentran entre los 1 180 mm y 1 262 mm.



## CAPÍTULO II: CONCRETO EN CLIMA FRÍO

### 2.1 MARCO TEÓRICO

Según el ACI-306R ("Cold Weather Concreting") se considera clima frío si la temperatura ambiental media por más de 3 días consecutivos es menor de 5°C. Si la temperatura ambiental media se mantiene superior a 10°C ya no se considera clima frío. En el caso de las normas Peruanas y otras sudamericanas consideran clima frío a aquel en que, en cualquier época del año la temperatura ambiente puede estar por debajo de 5 °C.

Las operaciones de concretado en clima frío tienen como finalidad lograr un procedimiento de trabajo que garantice que el concreto, independientemente de la temperatura de congelación, será lo suficientemente resistente y durable como para cumplir con los requisitos de servicio que se le han asignado.

Los problemas en este caso provienen de la congelación del concreto fresco. Si se permite que el concreto que no ha fraguado se congele, el agua de la mezcla se convertirá en hielo y aumentará el volumen total del concreto. Puesto que ahora no queda agua disponible para las reacciones químicas, el fraguado y endurecimiento del concreto se retrasa y queda poca pasta de cemento que pueda ser alterada por la formación del hielo. Cuando en una etapa posterior tiene lugar al deshielo, el concreto fraguará y endurecerá en su estado expandido, que contiene un gran volumen de poros y en consecuencia tiene una baja resistencia.

El concreto puede revibrarse y recompactarse cuando se deshuela pero tal procedimiento en general no es recomendable, pues resulta difícil saber exactamente cuándo ha empezado a fraguar el concreto.

Si el congelamiento ocurre después que ha fraguado, pero antes de que desarrolle una resistencia considerable, la expansión asociada con la formación de hielo causa una ruptura y pérdida irreparable de la resistencia. Sin embargo, si el concreto ha adquirido suficiente resistencia antes de congelarse, puede soportar la presión interna generada por la formación de hielo a partir del agua remanente de la mezcla. Tal cantidad es pequeña porque, en esta etapa, una parte del agua de la mezcla ya se habrá combinado con el cemento en el proceso de hidratación, y otra parte estará localizada en los pequeños poros de



gel, y por lo tanto, no podrá congelarse. Lamentablemente no es fácil establecer la edad en que el concreto es lo bastante fuerte para resistir el congelamiento.

Generalmente, mientras avanzada esté la hidratación del cemento, y mayor sea la resistencia del concreto, menor será la vulnerabilidad a los daños por congelación. Además de protegerlo contra los daños por congelamiento en una etapa temprana, el concreto debe poder soportar cualesquiera de los ciclos consecuentes de congelamiento y deshielo, si estando en servicio en probable tal situación.

## 2.2 CONGELAMIENTO EN EL CONCRETO

En climas fríos la exposición del concreto a ciclos de congelamiento y deshielo es una prueba severa para el material, y es obvio que si se tratará de un concreto de baja calidad seguramente fallará. Por otro lado estudios sobre concreto en climas con las características antes mencionadas demuestran que un concreto con aire incorporado el cual es adecuadamente dosificado, mezclado, colocado, acabado y curado, casi siempre resistirá al congelamiento cíclico durante muchos años.

## 2.3 DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS EN CLIMAS FRÍOS

Para poder tener estructuras en climas fríos donde el concreto es expuesto una combinación de humedad y congelamiento, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

### **A. Un adecuado diseño de la estructura de tal forma que sean reducidos los efectos originados por la exposición a la humedad:**

- Se puede prevenir la vulnerabilidad de la estructura al congelamiento principalmente influida por su grado de saturación, es necesario realizar un cuidadoso diseño de la estructura con el fin de reducir la captación el agua por el concreto.
- La estructura debe presentar una geometría que propicie un buen drenaje.
- Eliminar todas las juntas innecesarias y prever un desagüe efectivo.
- Tener cuidado en minimizar la formación de grietas en la estructura, ya que puede acumular o transmitir agua.

**B. Baja relación agua/cemento:**

- Según Norma Peruana E.60 Concreto Armado (Tabla 4.4.2) si se requiere un concreto ha de estar sometido a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda ha de cumplir los requisitos indicados. Ver TABLA 1

TABLA 1: CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICION

CONDICIONES DE EXPOSICION	RELACION AGUA/CEMENTO MAXIMA
Concreto de baja permeabilidad: a) Expuesto a agua dulce: b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres: c) Expuesto a la acción de aguas cloacales(*):	0.50 0.45 0.45
Concreto expuesto a proceso de congelación y deshielo en condición humedad: a) Sardineles, Cunetas, secciones delgadas: b) Otros elementos:	0.45 0.50
Protección contra la corrosión del concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres o neblina o rocío de esta agua: Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15mm:	0.40 0.45

(\*) La resistencia  $f'c$  no deberá ser menor de 245 Kg/cm<sup>2</sup>, por razones de durabilidad

**Fuente:** Norma E.060 Concreto Armado

**C. Aire incorporado**

- Una cantidad demasiado pequeña de aire incorporado no protegerá la pasta de cemento contra el congelamiento y el exceso de aire provocará la disminución de su resistencia.
- Según Norma Peruana E.60 Concreto Armado (Tabla 4.4.1) el contenido de aire recomendado para el concreto resistente a la congelación depende del tamaño máximo nominal del agregado. Ejm. Para TMN de 3/4" a una exposición severa el contenido de aire sería 6% con una tolerancia razonable en obra de +/- 1.5%. Ver TABLA 2
- Se puede utilizar un equipo medidor de aire para obtener una indicación aproximada de su contenido.

**TABLA 2: CONTENIDOS DE AIRE RECOMENDADOS PARA EL CONCRETO RESISTENTE A LA CONGELACION**

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL(*)	CONTENIDO DE AIRE, EN %			
	EXPOSICION SEVERA		EXPOSICION MODERADA	
	TOTAL	ATRAPADO	TOTAL	ATRAPADO
3/8"	7.5	3.0	6.0	3.0
1/2"	7.0	2.5	5.5	2.5
3/4"	6.0	2.0	5.0	2.0
1"	6.0	1.5	4.5	1.5
1 1/2"	5.5	1.0	4.5	1.0
2"(**)	5.0	0.5	4.0	0.5
3" (**)	4.5	0.3	3.5	0.3
6" (**)	4.0	0.2	3.0	0.2

(\*) Ver la Norma ASTM C33 para tolerancias en los diversos tamaños maximos nominales.

(\*\*) Todos los valores de la tabla corresponden al total de la mezcla.

**Fuente:** Norma E.060 Concreto Armado

#### D. Materiales adecuados

- Entre las pruebas de laboratorio para concreto se incluye la prueba rápida de congelamiento y deshielo (ASTM C666) en la que la durabilidad del concreto se mide por la reducción del módulo de elasticidad dinámico del concreto.
- Pruebas complementarias a estas serían de acuerdo a la norma ASTM C671 y ASTM C682.
- Para los aditivos incorporadores de aire deben sujetarse a la norma ASTM C260, la cual indica una distancia necesaria de sistemas de cámaras de aire para proteger al concreto de 0.20mm

#### E. Adecuado curado antes del primer ciclo de congelamiento

- El concreto con aire incorporado debe ser capaz de soportar uno o dos ciclos de congelamiento y deshielo cuando logre una resistencia a la compresión de aproximadamente 35kg/cm<sup>2</sup>.; Siempre que no exista una fuente exterior de humedad. A temperaturas de 10°C la mayoría de los concretos dosificados alcanzarán esta resistencia durante el segundo día.
- Se aconseja dejar un periodo de secado después del curado

## **F. Especial atención a los procedimientos constructivos**

- Las adecuadas prácticas constructivas son indispensables para obtener un concreto durable.
- El concreto debe de ser compactado adecuadamente, sin embargo, el trabajar la superficie con exceso, el exagerar el acabado y añadir agua para facilitar el acabado deben evitarse debido a que hacen un exceso de mortero o de agua llegue a la superficie.
- La lechada resultante es particularmente vulnerable a la acción de sales descongelantes. Estas prácticas también pueden conducir a la remoción del aire incorporado. Radicando su importancia mínima si únicamente las burbujas mayores expelen, pero si las burbujas pequeñas son removidas, la durabilidad puede afectar seriamente.

## CAPÍTULO III: CONTROL DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

### 3.1 CONTROL DEL CONCRETO FRESCO EN OBRA

#### 3.1.1 Marco Teórico

- Control de calidad del concreto:

Es considerado un concreto de buena calidad aquel que cumpla con los requisitos de trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

Cuando es preparado un concreto según una dosificación ya aprobada para un caso particular, se debe de verificar si el desempeño de la mezcla cumple con los requisitos teóricos que se espera para ese caso particular.

Debido a este motivo se ejecutan ensayos en las mezclas de concreto en estado fresco y posteriormente en estado endurecido.

- Preparación antes de la colocación:

Consiste principalmente en asegurarse de que todas las superficies que vayan a estar en contacto con el concreto recién colocado se encuentren a una temperatura que no pueda ocasionar el congelamiento prematuro, o prolongar severamente el endurecimiento del concreto.

Durante periodos severos de clima frío, se hace necesario calentar los encofrados, el acero de refuerzo y el concreto antes de colocarlo, y arreglar la forma de proporcionar aislamiento para prevenir la pérdida excesiva de calor

Cuando se tiene temperaturas menores a  $-10^{\circ}\text{C}$ , es requerido calentar el acero del refuerzo de diámetros 1" o mayores, y también los insertos metálicos, hasta temperaturas que superen el punto de congelación.

- Colocación del concreto:

El objetivo principal del colocado es depositar el concreto en su posición final, o lo más cerca posible de ésta, de la manera más rápida y eficaz, para evitar la segregación y lograr una compactación total.

En tal sentido en el caso de la compactación del concreto, el espesor de las capas deberá ser el mayor posible, teniendo para este fin en cuenta el equipo de

vibración que se utilizará; esto tiene por finalidad retener la mayor cantidad de temperatura generada por el concreto (a mayor espesor de la capa mayor temperatura generada y retención)

Previamente debe retirarse el hielo de armaduras, encofrados o elementos embebidos, cualquier superficie o suelo sobre el cual el concreto va a ser colocado.

### 3.1.2 Ejecución de la actividad

Para el desarrollo de esta actividad se consideró el análisis y toma de datos de la Construcción del Área de molinos: Molinos SAG (FOTO 4), específicamente en su cimentación de dimensiones 36.0m x 21.0m x 2.0m (ANEXO 2 y 3).

El concreto proporcionado para dicha actividad fue Premezclado con las siguientes especificaciones Técnicas:

- Resistencia ( $f'c$ ): 30MPa
- Tamaño Máx. de agregado: 3/4"
- Asentamiento (Slump): 6" - 7.5"
- % de Aire: 6% +/- 1.5%



FOTO 8:

Trabajos Previos al vaciado de la Cimentación de 36.0 x 21.0 x 2.0m.





FOTO 9:

A la llegada del mixer se realiza los ensayos al concreto en estado fresco: Asentamiento y Contenido de aire.



FOTO 10:

Se toma los datos de la temperatura ambiente y temperatura del concreto a pie de obra.



FOTO 11:

Realización del ensayo de Asentamiento del concreto para verificar su fluidez (Slump).





FOTO 12:

Se toma parte de la muestra de concreto para verificar el contenido de aire.



FOTO 13:

Equipo medidor del contenido de aire.



FOTO 14:

Toma de lectura en el equipo medidor del contenido de aire.



El vaciado de la actividad se realizó el día 29.Dic.2012 a las 01:35a.m. y culminó a las 10:30p.m. Con un volumen de concreto colocado de 1457.5 m<sup>3</sup>.

Se tomaron datos de campo como: N° Mixer, N° guía de remisión, Resistencia de Concreto, Hora de salida de planta del Mixer, Hora de llegada a obra, Temperatura Ambiente, Temperatura del concreto, Slump, Contenido de Aire, Peso unitario total, Peso unitario del Concreto, Hora de Inicio y Termino de la Descarga, Volumen del Mixer.

Los datos se muestran en el ANEXO 4.

## 3.2 CONTROL DE TEMPERATURA DEL CONCRETO EN OBRA

### 3.2.1 Marco Teórico

Según Norma ACI 306R-88 (Tabla 3.1), la temperatura del concreto en el momento de la colocación no deberá ser inferior a la que se indica en la línea 1 (ver TABLA 3). Las altas temperaturas en el concreto no ofrecen proporcionalmente una mayor protección contra el congelamiento, ya que la pérdida de calor es más rápida en diferenciales mayores de temperatura. Además, a temperaturas más elevadas se requiere más agua de mezclado, por lo que aumenta la pérdida de revenimiento, en ocasiones se provoca un fraguado rápido y se incrementa la contracción térmica. La rápida pérdida de humedad en las superficies de concreto expuestas, puede provocar agrietamientos por contracción plástica. Por lo tanto, la temperatura de concreto en el momento de la colocación, debe de mantenerse tan cerca de las temperaturas mínimas sugeridas como sea posible.

De otro lado cabe mencionar que al ser la sección del concreto más masiva, más lentamente perderá calor. Esto podemos evidenciarlo en la línea 1 de la TABLA 3 en que se recomienda temperaturas mínimas y más bajas para el concreto, en el momento de la colocación, a medida que la sección del concreto sea más masiva

TABLA3: TEMPERATURAS RECOMENDADAS PARA EL CONCRETO

Línea	Temperatura del Aire	Dimensiones de la sección, dimensión mínima(mm)			
		300	300-900	900-1800	1800
Temperatura mínima del concreto colocado y para mantenimiento					
1	-	13°C	10°C	7°C	5°C
Temperatura mínima del concreto para la mezcla de acuerdo a la temperatura del aire					
2	-1°C	16°C	13°C	10°C	7°C
3	-18°C a -1°C	18°C	16°C	13°C	10°C
4	-18°C	21°C	18°C	16°C	13°C
Máxima temperatura permitida en las primeras 24 hrs. al final del periodo de protección.					
5	-	28°C	22°C	17°C	11°C

**Fuente:** Norma E.060 Concreto Armado

De lo que podemos interpretar que la temperatura del concreto en el momento de la colocación debe encontrarse siempre cerca de la mínima temperatura indicada en la Tabla 3, la temperatura de colocación no debe ser superior a estos valores mínimos por más de 11°C. Uno debe tomar ventaja de la oportunidad que ofrece el clima frío a otro de baja temperatura. El concreto que se coloca a bajas temperaturas (5°C a 13°C) está protegido contra la congelación y recibe curado desde hace mucho tiempo, desarrollando así una mayor resistencia a la rotura (Klieger 1958) y mayor durabilidad. Colocación a temperaturas más altas pueden agilizar el acabado en clima frío, pero va a deteriorar las propiedades del concreto a largo plazo.

La temperatura real en la superficie del hormigón determina la eficacia de la protección, independientemente de aire temperatura. Por lo tanto, es deseable vigilar y registrará la temperatura del concreto.

Las esquinas y los bordes de hormigón son más vulnerables a la congelación y por lo general son más difíciles de mantener a la temperatura requerida, por lo tanto, su temperatura debe ser monitoreada para evaluar y verificar la eficacia de la protección que ofrece.

Limitar los cambios bruscos de temperatura, sobre todo antes de que el hormigón haya adquirido suficiente fuerza para soportar las tensiones térmicas inducidas. El rápido enfriamiento de las superficies de concreto o grandes diferencias de temperatura entre los miembros de exteriores e interiores de la

estructura puede causar grietas, que puede ser perjudicial a resistencia y durabilidad

### 3.2.2 Ejecución de la actividad

Para los vaciados de cimentación, se realizó un microclima, contando con carpas de 30 m. x 30 m., que esta sujetó con parantes de maderas y sogas, teniendo en consideración que tendrá una pendiente mínima del 6%, dentro del microclima se cuenta con lámparas para el alumbrado en el interior del vaciado.

Para conservar la temperatura interior del vaciado se cuenta con calentadores y estufas a gas.

Para medir la temperatura del concreto durante los primeros días, se coloca antes del vaciado de la cimentación cánulas de cobre de 1" (ANEXO 5) teniendo en consideración que la diferencia de temperatura entre el núcleo del concreto y su superficie no debe de exceder de 20 °C para evitar agrietamientos que puedan producir una falla estructural, entre punto y punto, las mediciones se realiza cada 3 horas y se lleva un control durante los 4 primeros días, cuando las lecturas de temperaturas del concreto entre los puntos es constante se procederá a retirar el microclima del vaciado realizado.

Para realizar las mediciones de temperatura entre los puntos, se realizará con termómetros digitales de temperatura con sensores de longitud variables (desde 5.00 a 12.00 m.)

En toda el área de la Cimentación se instalan 5 puntos y en los cuales cada uno tiene 3 niveles de medición: Zona inferior, Núcleo y Superficie (ANEXO 5), adicionalmente se toman los datos de la temperatura ambiente y la Temperatura al interior de la carpa (Temperatura Microclima).

A continuación se muestra Imágenes fotográficas indicando la secuencia descrita para el desarrollo de la actividad, los datos de campo fueron incluidos en el ANEXO 6 y 7.



FOTO 15:

Colocación de la carpa antes del Vaciado de concreto para protección del clima frío.

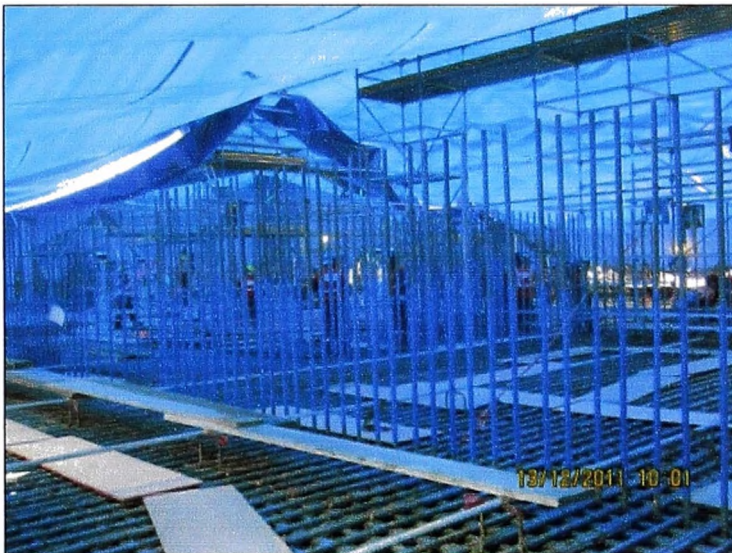


FOTO 16:

Interior de la carpa antes del vaciado de la Cimentación



FOTO 17:

Colocación de las Cánulas de Cobre en el Interior de la Cimentación (Anexo 4)





FOTO 18:

Inicio del vaciado controlando las condiciones climáticas.



FOTO 19:

En la colocación del concreto se debe mantener la temperatura adecuada, por ello se instalan reflectores y estufas a gas.



FOTO 20:

Medición de la temperatura en el interior de la cimentación cada 3 horas luego de culminado el vaciado de la estructura (anexo 4)



FOTO 21:

En las cánulas se mide la Temperatura con unas Termocuplas (Sensor de Temperatura) instaladas para la toma de datos.



FOTO 22:

Medición de la Temperatura ambiente en el interior de la carpa con Termómetros Digitales Calibrados.



**Análisis de la información:**

Del anexo 4 extraemos la toma de datos realizados a pie de obra de: Temperatura ambiente (°C), Temperatura del concreto (°C), Slump (Pulg.) y Contenido de aire (%).

Total de datos: 232

N°	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMPERATURA DEL CONCRETO (°C)	SLUMP (Pulg.)	CONTENIDO DE AIRE (%)
1	2.2	6.0	7 1/2	6.1
2	2.6	6.6	7 1/2	
3	2.9	10.1	7 1/2	
4	2.9	9.8	7 1/2	
5	4.2	10.0	7 1/2	
6	4.2	10.4	7 1/2	6.0
7	4.5	11.4	7 1/2	
8	4.5	10.8	7 1/2	
9	4.6	9.6	7 1/2	
10	4.5	9.8	7 1/2	
11	4.6	11.0	7 1/4	6.1
12	4.7	10.7	7 1/4	
13	4.5	11.2	7 1/4	
14	4.6	11.0	7 1/4	
15	4.7	10.8	7 1/4	
16	3.3	10.8	7 1/4	
17	1.9	10.5	7 1/4	6.7
18	1.8	10.8	7 1/2	
19	1.7	10.9	7 1/4	
20	3.0	11.2	6 1/2	
21	3.5	11.0	7 1/2	6.2
22	3.7	11.5	7	
23	3.5	11.2	6 1/4	
24	3.5	10.9	7 1/2	
25	3.5	11.6	7 1/4	
26	4.6	11.2	7 1/2	6.0
27	3.9	11.5	7 1/4	
28	4.0	11.6	7 1/2	
29	4.3	11.5	7 1/4	
30	4.5	11.2	6 1/4	
31	4.6	10.4	7	
32	5.0	10.6	6 1/2	6.1
33	3.8	12.0	7 1/2	
34	4.6	11.0	7 1/2	

N°	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMPERATURA DEL CONCRETO (°C)	SLUMP (Pulg.)	CONTENIDO DE AIRE (%)
35	4.5	11.2	7 1/2	
36	4.8	11.6	7 1/2	
37	3.4	11.4	7 1/2	
38	3.4	11.6	6 1/2	
39	3.3	11.4	7 1/4	5.9
40	3.8	11.6	7 1/2	
41	2.9	11.2	7 1/2	
42	3.3	11.4	7 1/2	
43	2.8	11.2	7 1/4	
44	2.7	11.6	7	6.3
45	3.2	10.8	6 1/2	
46	3.8	10.2	7	
47	3.6	10.8	7 1/4	
48	3.2	11.0	7 1/4	
49	2.9	11.2	7	6.1
50	2.8	11.4	7 1/2	
51	2.9	10.8	6 1/4	
52	3.1	11.2	7 1/2	
53	3.0	11.0	7 1/2	
54	3.2	11.4	7 1/4	6.0
55	3.9	10.0	6 1/2	
56	4.9	10.4	6 3/4	
57	3.4	8.9	7 1/2	
58	3.7	11.0	7	
59	2.9	10.6	7	
60	2.5	11.1	6 1/2	6.3
61	3.0	9.3	6 3/4	
62	2.9	9.4	7	
63	3.7	10.5	7	
64	3.9	9.5	7	
65	3.5	11.0	6 1/2	
66	2.9	11.0	7 1/4	5.3
67	3.8	10.3	7 1/2	
68	4.1	9.7	7	
69	3.9	10.3	7 1/2	
70	3.3	10.0	7 1/4	
71	3.5	11.1	6 3/4	6.1
72	4.5	10.8	7	
73	3.9	11.2	7 1/4	
74	3.2	8.6	7	
75	3.4	9.4	7	



N°	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMPERATURA DEL CONCRETO (°C)	SLUMP (Pulg.)	CONTENIDO DE AIRE (%)
76	3.5	10.0	6 3/4	
77	4.3	9.8	7	6.0
78	3.9	11.2	7	
79	3.4	10.6	6 3/4	
80	3.4	10.2	7	
81	3.8	9.8	6 3/4	
82	3.0	9.5	6 1/2	
83	2.9	10.5	6 3/4	6.6
84	3.2	11.5	6 1/2	
85	3.9	9.8	5 3/4	
86	3.7	10.2	7 1/2	
87	3.5	9.7	6 1/4	
88	4.5	10.7	6 3/4	
89	4.3	11.0	7	6.3
90	4.5	9.9	7	
91	4.3	10.4	7 1/4	
92	4.3	9.7	7	
93	4.6	10.1	6 1/2	
94	5.4	10.1	6 1/4	
95	3.8	10.7	7	6.0
96	3.5	9.2	6 3/4	
97	3.4	9.6	7	
98	3.9	11.2	6 3/4	
99	3.4	10.8	7 1/4	
100	3.4	11.0	7	5.5
101	4.5	11.3	6	
102	4.4	10.9	6 1/2	
103	4.9	11.1	7	
104	3.4	10.9	7 1/4	
105	3.6	9.8	6 1/2	6.1
106	5.7	11.1	7 1/4	
107	4.5	10.8	7	
108	3.9	10.4	6 1/2	
109	4.3	11.0	6 1/4	
110	6.7	10.6	7	6.2
111	6.5	10.4	6 3/4	6.3
112	6.4	11.0	7	
113	6.2	10.8	6 3/4	
114	6.8	11.0	7 1/4	
115	6.9	9.8	7	
116	7.0	10.5	6	

N°	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMPERATURA DEL CONCRETO (°C)	SLUMP (Pulg.)	CONTENIDO DE AIRE (%)
117	7.2	10.1	6 1/2	
118	7.0	11.1	7	
119	8.6	12.4	7 1/4	
120	7.2	11.8	6 1/2	
121	6.9	11.7	7 1/2	
122	7.1	11.4	7	5.8
123	6.8	10.8	6 3/4	
124	11.6	9.9	7	
125	10.0	12.0	7 1/2	
126	10.7	11.5	7 1/4	
127	11.6	12.8	7 1/2	
128	12.1	11.9	7 1/4	5.7
129	12.1	12.4	7 1/4	
130	11.9	12.1	7	
131	10.6	10.9	6 3/4	
132	11.9	13.6	7	
133	11.4	14.0	7 1/4	6.0
134	11.5	13.4	7 1/2	
135	11.6	13.2	7 1/4	
136	11.7	13.2	7	
137	12.6	12.9	6 1/2	
138	12.1	12.7	5 3/4	5.7
139	11.9	12.6	6 1/2	
140	11.3	12.1	7 1/2	
141	9.1	14.1	6 1/2	
142	9.0	12.0	6 3/4	
143	12.1	12.2	7 1/2	
144	13.0	12.1	6	4.9
145	13.1	12.3	6 3/4	
146	13.4	12.5	7	
147	13.6	12.5	6 3/4	
148	13.8	13.8	6	
149	13.1	12.5	7	
150	12.4	12.5	6 3/4	5.4
151	13.3	13.4	7	
152	13.2	13.1	6 3/4	
153	11.9	13.2	6 1/4	
154	12.3	12.9	6 1/2	
155	9.6	12.5	7	
156	8.0	12.5	7	5.0
157	5.3	12.1	7 1/4	

N°	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMPERATURA DEL CONCRETO (°C)	SLUMP (Pulg.)	CONTENIDO DE AIRE (%)
158	6.5	11.5	7	
159	8.8	11.2	6 1/2	
160	9.0	11.0	6 1/2	
161	9.2	12.8	6 1/4	
162	9.2	12.5	6 3/4	5.5
163	5.9	12.1	7	
164	9.6	12.3	6 1/2	
165	7.4	12.5	6 1/2	
166	7.7	12.7	6 1/2	
167	8.7	12.4	6 3/4	
168	7.6	11.8	7	
169	7.8	11.3	7 1/4	
170	10.0	11.2	7 1/2	
171	10.0	11.3	7 1/4	5.0
172	11.0	11.0	6 3/4	
173	10.4	12.2	6 3/4	
174	11.2	12.5	7 1/2	
175	11.9	12.3	7 1/4	
176	10.5	13.1	7	
177	8.7	12.3	7 1/4	5.7
178	8.8	11.9	7 1/2	
179	8.6	11.4	7	
180	9.0	10.9	7 1/4	5.8
181	8.8	10.7	7 1/4	
182	7.4	11.2	7	
183	6.9	11.9	7 1/2	
184	6.3	12.3	6 3/4	
185	5.4	10.9	7	
186	5.2	10.6	7 1/4	5.0
187	3.3	7.3	7 1/2	
188	4.2	9.5	7	
189	4.7	8.8	7 1/2	
190	5.4	9.4	6 1/2	
191	5.9	10.2	7	
192	4.6	11.1	7 1/4	5.4
193	4.7	10.8	7 1/2	
194	3.5	10.0	7 1/2	
195	2.7	9.5	7	
196	1.9	7.9	7 1/4	
197	2.9	8.5	7 1/2	3.7
198	3.3	10.8	7 1/2	

N°	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMPERATURA DEL CONCRETO (°C)	SLUMP (Pulg.)	CONTENIDO DE AIRE (%)
199	3.9	9.8	7	
200	1.2	9.0	7 1/4	
201	2.6	9.3	7 1/2	
202	1.7	10.1	7 1/2	
203	1.4	10.3	7 1/2	4.1
204	4.1	9.8	7 1/2	
205	4.2	10.1	7 1/2	
206	4.2	10.5	7 3/4	
207	3.6	8.5	7 1/2	
208	3.7	8.7	7 1/2	
209	4.7	9.4	7 3/4	4.6
210	4.3	9.1	7 1/2	
211	3.5	11.1	6	
212	4.2	11.5	7 1/4	
213	3.0	11.3	7 1/2	4.8
214	3.1	10.8	7	
215	3.4	11.9	6	
216	3.1	9.9	6 1/4	
217	3.0	9.1	6	
218	3.2	9.4	6 1/4	5.0
219	3.2	10.2	6 1/2	
220	3.6	11.5	6	
221	1.8	9.0	7	
222	3.7	10.5	6 3/4	
223	3.1	10.2	6 1/2	
224	4.2	7.0	7	6.2
225	4.1	11.7	6 1/4	
226	3.0	10.8	6	
227	3.6	11.1	6 1/2	
228	4.2	11.8	7	
229	2.9	12.2	6 3/4	
230	3.0	11.7	6 1/2	4.7
231	3.7	11.4	6 1/2	
232	4.1	10.9	6 3/4	

Obteniendo:

- Máximos valores
- Mínimos valores
- Promedio de los datos
- Desviación.

	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMPERATURA DEL CONCRETO (°C)	SLUMP (Pulg.)	CONTENIDO DE AIRE (%)
MÁXIMO	13.8	14.1	7 3/4	6.7
MÍNIMO	1.2	6.0	5 3/4	3.7
PROMEDIO	5.6	10.9	7	5.7
DESVIACION	3.2	1.2	1/2	0.7
RANGO	2.4°C – 8.8°C	9.7°C – 12.2°C	6 1/2" – 7 1/2"	5.0% – 6.3%

## CAPITULO IV: CONTROL DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

### 4.1 DESENCOFRADO Y CURADO DE LAS ESTRUCTURAS

#### 4.1.1 Marco Teórico

##### Protección del concreto contra el congelamiento

Hay que tener presente que la temperatura del concreto determina la efectividad de la protección, independiente de la temperatura del aire o de si es durabilidad o resistencia. Las esquinas y ángulos del concreto son más vulnerables a congelación y generalmente son más difíciles de mantener a la temperatura requerida; en tal sentido, surge la necesidad de medir su temperatura, monitorearla y evaluarla, para poder verificar la efectividad de la protección empleada.

Los tiempos en que se retirarán los encofrados y puntales dependerán de un estudio de la resistencia del concreto en el lugar donde se realizan las labores.

##### Caidas de temperatura luego del retiro de la protección

Cuando se finaliza el periodo de protección, debe de enfriarse el concreto gradualmente con la finalidad de minimizar las distintas deformaciones inductoras de agrietamiento entre el interior y el exterior de la estructura. Dichas caídas de temperatura no deben de exceder los valores de la Tabla 4 (ACI 306 Tabla 5.5).

Para tal fin, se puede conseguir reduciendo lentamente las fuentes de calentamiento, o al permitir que el aislamiento permanezca hasta que el concreto haya alcanzado el equilibrio térmico con la temperatura ambiental del exterior.

TABLA 4: MAXIMA DISMINUCIÓN GRADUAL DE LA TEMPERATURA EN EL CONCRETO DURANTE LAS 24 HORAS DESPUES DEL PERIODO DE PROTECCION

Section size, minimum dimensions, in. (mm)			
<12 in. (<300 mm)	12 to 36 in. (300 to 900 mm)	36 to 72 in. (900 to 1800 mm)	>72 in. (>1800 mm)
50 F (28°C)	40 F (22°C)	30 F (17°C)	20 F (11°C)

Fuente: Norma ACI 306-88

## **Metodología de protección**

El concreto colocado en clima frío debe de mantenerse dentro de las temperaturas recomendadas en la Tabla 3.

El sistema de protección requerido para conseguir mantener las temperaturas recomendadas depende algunos factores como las condiciones climáticas del lugar, la geometría de la estructura, y la dosificación de la mezcla de concreto. Asimismo de los recursos con que contemos en el lugar donde se realizarán las labores.

## **Recintos cerrados**

Los recintos cerrados constituyen los más efectivos métodos de protección. La utilización de los recintos cerrados impide el paso del viento, evitan la entrada de aire frío y conservan el calor. En tal sentido necesario evitar aberturas para mantener fuera de los recintos las corrientes frías.

Las carpas o cubiertas pueden ser construidas con lana, lona, paneles de construcción, láminas de plástico u otro material adecuado, siendo los recomendados materiales aislante.

El interior de los recintos puede ser calentado mediante vapor, ventiladores de calefacción, estufas, salamandras o calentadores de diversos tipos.

## **Curado**

Se da curado durante las primeras etapas de endurecimiento.

Curado es el nombre que se da a los procedimientos empleados para promover la hidratación del cemento y desarrollo de la resistencia del concreto.

Dichos procedimientos de curado son el control de temperatura y los movimientos de la humedad desde y hacia el concreto. Estos últimos no solo afecta a la resistencia, sino también a la durabilidad.

En condiciones ambientales críticas: ALTAS TEMPERATURAS, BAJA HUMEDAD RELATIVA Y VIENTOS FUERTES, además de prever la utilización de barreras para el viento y pantallas que proporcionen sombra, se deben combinar el curado con agua con la aplicación del curador químico.

Es factible la utilización de aditivos acelerantes de fragua a fin de reducir el tiempo de curado, cuando sea requerido según la situación del trabajo a realizar.

### **Curado en clima frío**

El curado en clima frío debe proporcionar protección contra la congelación, sin dejar de tener presente el objetivo principal de retener la humedad durante el tiempo necesario para que la hidratación del cemento llegue a un punto aceptable

Con el fin de que alcance la saturación deseada, el concreto nuevo debe de ser protegido del secado prematuro. Por lo general, deben de tomarse medidas preventivas necesarias a fin de evitar una evaporación excesiva de la humedad de dicho concreto. Sin embargo, durante el invierno, cuando la temperatura ambiental cae por debajo de los 10°C, las condiciones atmosféricas en la mayor parte de las zonas no provocarán un secado indeseable; pero el concreto nuevo, en condiciones de saturación, resulta vulnerable al congelamiento y, por lo tanto, debe permitirse un ligero secado antes de exponerlo a temperaturas de congelamiento.

Durante el periodo invernal, en el cual se presenta el congelamiento, las temperaturas extremas ocasionales, superiores a los 10°C, no debe ser motivo de preocupación ni ser un índice de mejora en las condiciones ambientales. Sin embargo, cuando se presentan temperaturas superiores a los 10°C durante más de la mitad de horas de un periodo 24 horas, ya no debe considerar al concreto como concreto de invierno y debe aplicarse una práctica de curado normal.

A pesar de que el concreto expuesto a climas invernales no seca rápidamente la aplicación de un compuesto para curado reduce el secado y, por lo tanto, mejora las condiciones de curado. Si se aplica dicho compuesto durante el primer periodo de temperatura superior al punto de congelación después de que se ha retirado la protección, se elimina la necesidad de efectuar operaciones adicionales de curado si la temperatura se llegara a elevar por encima de los 10°C.

### **Ventajas de un curado adecuado del concreto**

Mayor durabilidad y mejor apariencia: el curado adecuado del concreto reduce el agrietamiento, el descascaramiento y aumenta la resistencia al desgaste.



Disminución notable de la contracción plástica: la rápida pérdida de la humedad del concreto aumenta la contracción plástica, la cual se traduce en un fisuramiento superficial intenso.

### **Curados recomendados**

La técnica preferida consiste en utilizar vapor, tanto para el calentamiento como para evitar la evaporación excesiva.

Descargar vapor vivo dentro de una carpa cubierta constituye un excelente método de curado por cuanto aporta al concreto tal como hemos mencionado humedad y calor. El vapor resulta especialmente práctico en tiempos extremadamente fríos, debido a que la humedad aportada elimina el secado rápido que ocurre cuando se calienta aire muy frío.

Puede ser utilizado compuesto químico del tipo formador de membrana, dentro de carpas de calentadas. Sin embargo, es preferible efectuar primeramente un curado húmedo (no debe aplicarse sino hasta que se ha terminado el uso de vapor) y aplicar la membrana de curado una vez retirada la protección y cuando la temperatura ambiente es superior a la de congelación.

Los compuestos líquidos de curado que forman membrana surgen como la alternativa adecuada para aplicarlos en climas fríos con mayores ventajas:

- Baja pérdida de agua por evaporación
- Facilidad de aplicación
- Ideal para sitios con deficiente suministro de agua
- Producción del concreto más durable
- Superficies de concreto libres de descascaramiento y resistentes al desgaste
- Pisos de concreto que no desprende polvo

Se puede curar con agua. Pero el curado con agua es el método menos deseable, dado que en climas extremadamente fríos, ocasiona problemas de formación de hielo donde el agua se filtra de los recintos o donde existe un sellado deficiente. De la misma forma, incrementa las posibilidades de que el concreto congele en condiciones próximas a saturación, una vez que se remueve la protección.

## Periodo de curado

Luego de colocado, el concreto debe mantenerse a una temperatura adecuada hasta que alcance una resistencia suficiente como para soportar la exposición subsiguiente a temperaturas bajas y cargas de servicio anticipadas, sin que produzca una reducción significativa de su resistencia final.

Los tiempos de curado y protección varían en función del tipo y cantidad de cemento, empleo de acelerantes, forma y tamaño de las masas de concreto, resistencia requerida y destino de la estructura antes de alcanzar la resistencia especificada.

### 4.1.2 Ejecución de la actividad



FOTO 23:

Luego de culminado el vaciado se mantiene el microclima de la estructura.



FOTO 24:

El microclima en el interior de la carpa se mantiene con reflectores y Estufas.



FOTO 25:

Se aplica un curador químico para evitar la pérdida de agua cuando el concreto se encuentra en estado endurecido.

## 4.2 ENSAYO A LA COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS

### 4.2.1 Marco Teórico

La resistencia del concreto dependerá mucho del cuidado que se tenga durante su etapa de curado, si además de esta solución económica, pensamos en el uso de aditivos incorporadores de aire de ser el caso estaremos evitando que el concreto sufra la presión hidráulica que sufre durante su etapa inicial de vida, y los incorporadores de aire se basan en introducir en la mezcla una estructura adicional de vacíos No intercomunicados, que permitirán absorber los desplazamientos generados por el congelamiento eliminando las tensiones. Este fenómeno no sólo se presenta en el concreto recién vaciado, sino en aquellos elementos sometidos a humedad continua durante su vida útil, y la fatiga que se produce por el transcurrir del tiempo, también generarán daño a los elementos.

El concreto que ha sido correctamente curado es superior en muchos aspectos como resistencia y durabilidad bajo ataques químicos, por lo tanto el curado es un proceso que tiene por finalidad mantener en el concreto el contenido de agua adecuado para alcanzar la máxima hidratación de las partículas de cemento.

Desarrollo de la resistencia a la compresión: cuando el concreto no es curado, este no desarrolla la resistencia esperada (ensayos de laboratorio muestran que el concreto sin curar que permanece en un ambiente seco puede perder hasta el 50% de su resistencia potencial).

## Consecuencias de la no protección del concreto

La temperatura afecta la duración del proceso de hidratación del cemento; en el caso de temperaturas bajas se produce un retardo tanto en el endurecimiento del concreto y el aumento de su resistencia.

En consecuencia, las temperaturas por debajo del punto de congelación son nocivas para el concreto fresco; de darse el caso de exponer el concreto colocado inmediatamente a congelación, este aumentará muy poco su resistencia y con seguridad sufrirá algún daño permanente; de tal manera que la necesidad de protección y requisitos especiales en el tratamiento del concreto se hace evidente.

Otra de las consecuencias de no proteger el concreto de su exposición a bajas temperaturas es la pérdida excesiva del calor, y más aún a temprana edad que se genera calor de hidratación del cemento.

Si se permite que el concreto que no ha fraguado se congele, el agua de la mezcla se convertirá en hielo y aumentará el volumen total del concreto (cuando el agua se congela hay un incremento de volumen de hasta 9% más o menos aproximadamente). Al suceder esto, no queda agua disponible para las reacciones químicas, el fraguado y endurecimiento del concreto se retrasa y queda poca pasta de cemento que puede ser alterada por la formación de hielo. Al producirse el deshielo posteriormente, el concreto fraguará y endurecerá en su estado expandido, el cual contiene una gran cantidad de poros y en consecuencia, este concreto tendrá baja resistencia.

Cuando el congelamiento se produce posteriormente, de que el concreto ha fraguado, pero antes de que se desarrolle una resistencia considerable, la expansión producida por la formación de hielo causa una ruptura y pérdida irreparable de la resistencia.



#### 4.2.2 Ejecución de la actividad

En la poza de Curado de probetas se instalan 4 resistencias conectados a un sensor que le proporciona al agua temperatura y lo mantiene en un Rango de 23 +/-2 °C. Los resultados de las roturas de las probetas a los 7, 14, 28 días se muestran en el ANEXO 8.



FOTO 26:

Poza de curado a temperatura adecuada para el desarrollo de la resistencia de las probetas de concreto



FOTO 27:

Probetas ensayadas para un adecuado control de su resistencia a los 7, 14, 28 días; utilizando Neopreno en la superficie de Contacto.

#### ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN:

Del anexo 8, el día del vaciado se tomaron 19 muestras de 5 probetas cada una para ensayo a la compresión de probetas cilíndricas (ASTM C39), a los 7 y 28 días se rompieron 2 probetas por muestra y solo 1 probeta a los 14 días para su seguimiento. Obteniendo el siguiente resultado:

# Muestra	f'c (Mpa) 7 Días	f'c (Mpa) 14 Días	f'c (Mpa) 28 Días
1	30.07	33.07	35.95
	29.95		36.14
2	29.56	33.21	36.32
	29.66		35.83



# Muestra	f'c (Mpa) 7 Días	f'c (Mpa) 14 Días	f'c (Mpa) 28 Días
3	30.04	32.98	36.20
	30.20		36.27
4	30.38	33.52	36.06
	29.92		36.17
5	29.94	33.10	36.40
	30.26		36.08
6	30.11	33.43	35.69
	30.47		36.10
7	30.11	33.08	36.48
	29.77		35.60
8	29.93	32.76	37.11
	30.53		37.11
9	29.99	32.91	36.79
	29.87		36.01
10	30.99	33.07	36.12
	30.51		36.39
11	30.14	33.08	35.58
	30.48		36.16
12	29.78	33.18	36.06
	29.85		36.60
13	29.81	33.49	36.10
	30.37		36.11
14	30.33	33.03	35.93
	30.13		35.99
15	30.23	33.08	36.79
	30.10		36.36
16	29.99	33.50	36.03
	29.97		36.00
17	30.22	33.05	35.69
	29.69		35.95
18	29.92	33.34	36.67
	29.91		35.96
19	29.96	33.36	35.56
	30.22		36.12

<b>Máximo</b>	31.0	33.5	37.1
---------------	------	------	------

<b>Mínimo</b>	29.6	32.8	35.6
---------------	------	------	------

<b>Promedio</b>	<b>30.1 Mpa</b>	<b>33.2 Mpa</b>	<b>36.2 Mpa</b>
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

<b>Desviación</b>	0.3	0.2	0.4
-------------------	-----	-----	-----

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- El clima frío se considera para temperaturas menores a 5°C, de la toma de datos en campo para la fecha del vaciado obtenemos valores variables desde 2.4°C hasta 8.8°C por eso se tomaron las medidas de protección del concreto tanto en estado fresco como endurecido y no se vea afectada su resistencia y durabilidad.
- De la tabla 3, según norma la temperatura del concreto para colocación establece un rango desde 5°C a 16°C, en el campo se obtiene de los controles realizados valores desde 9.7°C a 12.2°C cumpliendo lo especificado debido a la protección realizada en clima frío.
- Cumpliendo con las especificaciones técnicas del proyecto para rangos en el Asentamiento de 6" – 7.5" y Contenido de aire 6.0% ± 1.5%, obtenemos valores en los ensayos a pie de obra del concreto en estado fresco del Slump de 6.6" – 7.4" y contenido de aire de 5.0% - 6.3%.
- El concreto que se coloca en climas fríos y está protegido contra la congelación, recibe curado desde el inicio, como lo demuestra los ensayos realizados; para la especificación se requiere concreto con  $f'c$ : 30Mpa obteniendo en promedio a los 7 días  $f'c$ : 30.1Mpa, a los 14 días  $f'c$ : 33.2Mpa y a los 28 días  $f'c$ : 36.2Mpa, desarrollando así una mayor resistencia a la rotura y mayor durabilidad.
- La relación de  $a/c$  no debe ser mayor que 0.50; el exceso de agua en la mezcla traerá como consecuencia que se produzca el fenómeno de congelamiento y la resistencia no deberá ser menor de 245Kg/cm<sup>2</sup> por razones de durabilidad, y cumple con las consideraciones de la Norma E-060
- Dependiendo del espesor de los elementos vaciados estos deberán permanecer mayor tiempo encofrados, es decir no debemos desencofrar al día siguiente si es posible que las formas permanezcan 72 horas.
- Si empleamos acelerantes de fragua, debemos controlar el calor de hidratación del concreto, ya que los efectos por el exceso de calor son los mismos, es decir generan fisuramiento.
- Los resultados alcanzados de la toma de datos obtenidos en campo se ajustan dentro de los parámetros establecidos por la norma, siguiendo los controles realizados al trabajarlos como concreto en clima frío.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Debemos escoger las horas más apropiadas y donde la temperatura ambiente sea la más caliente para la colocación y tratamiento del concreto.
- Dosificar la mezcla con agregados de buena calidad, poco permeables para que menor sea el efecto del congelamiento interno de la misma.
- Para la toma de datos de la temperatura se debe realizar seguimiento día y noche para obtener una menor fecha de desencofrado de las estructuras.
- Planificar con suficiente anterioridad el método de protección del concreto a emplear contra posible congelamiento y deshielo en lugares con climas fríos.
- Se recomienda retirar el aislamiento cuando la temperatura ambiente sea adecuado o este aumentando. En caso contrario en que el gradiente de temperatura del ambiente y la temperatura del concreto sean muy grandes, debemos esperar mejores condiciones climatológicas. En nuestra realidad nacional, en las alturas de la sierra donde se presentan climas fríos siempre en el transcurso del día hay periodos donde hay la presencia de condiciones de climas cálidos, y se daría el caso para obtener el equilibrio térmico deseado.
- Se recomienda aplicar la membrana química lo más pronto posible, siendo esto inmediatamente de que la película de agua este desapareciendo de la superficie del concreto (evitando que la superficie de concreto sea expuesta mucho tiempo al viento y a la radiación solar frecuentes en los climas de nuestra sierra)
- Evitar el enfriamiento rápido del concreto al finalizar el periodo de protección entre la superficie del concreto y su interior, esto puede ocasionar fisuras especialmente en secciones grandes.
- La aplicación directa y continua de agua sobre el concreto produce mejores resultados; sin embargo para casos de climas fríos, el uso del agua como hemos mencionado constituye un riesgo potencial debido a la formación de hielo.
- Es necesario monitorear constantemente la variación de la temperatura en el proceso constructivo, porque así se puede tener un mejor manejo de la información que ayuda a la toma de decisiones que favorezca sus condiciones en las que se está trabajando el concreto en la interacción con el ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ACI Committee 306, "Cold Weather Concreting (ACI 306R-88)". ACI Manual of Concrete Practice, Part 2. American Concrete Institute. Farmington Hills. Detroit, Michigan. USA 1988.
2. Amacifuen Figueredo, Rodney. "Curado y protección de concretos colocados en climas fríos". Tesis. Lima. 2002.
3. Cosapi S.A., "PC-CON-MSG Procedimiento para la Construcción del Molinos Sag", Morococha, Junín. 2011.
4. Damiani, Carlos." Concretos en Climas Fríos", [en línea]. Mayo 2011. Disponible en la Web: <http://carlosdamiani.blogspot.com/2011/05/concretos-en-climas-frios.html>.
5. Minera Chinalco Peru, "Concrete Construction Rev.1". General Specification No. 000-GC-C-002, Toromocho Project No.C560, Arizona, 2008.
6. Montenegro, Julio. "El Concreto en Climas Fríos - Consideraciones". Septiembre 2011. Disponible en la Web: <http://civilgeeks.com/2011/09/28/el-concreto-en-climas-frios-consideraciones/>.
7. Norma Peruana E.060, "Concreto Armado". Normas Legales . Lima. 2006.
8. Pulgar Vidal, Javier." Las Ochos Regiones Naturales del Perú". Tesis sobre las regiones naturales. Lima. 1940.
9. Viacava Espinoza, José. "El Concreto en Climas Extremos". Estado actual y últimas tecnologías en el diseño y control del concreto. Lima. 2004.