



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN EXAMEN COMPLEXIVO
PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

DISEÑO DE HORMIGONES EN BAJAS TEMPERATURAS,
PARA APLICACIÓN EN LAS CONSTRUCCIONES DE LA
ESTACIÓN CIENTIFICA ANTARTICA ECUATORIANA
“PEDRO VICENTE MALDONADO”

AUTOR:

ARQ. PATRICIA TORRES HARO

TUTOR:

ING. ERNESTO SUÁREZ, MSCE.

NOVIEMBRE, 2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Patricia Mercedes Torres Haro**, como requerimiento para la obtención del Título de **Magister en Ingeniería de la Construcción**

TUTOR

Ing. Luis Ernesto Suárez Rodríguez, MSCE.

DIRECTOR DE LA MAESTRIA

Ing. Mercedes Beltrán Velásquez, MSc.

Guayaquil, a los 16 días del mes de noviembre del año 2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Torres Haro, Patricia Mercedes**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Diseño de Hormigones en bajas temperaturas, para aplicación en las construcciones de la Estación Científica Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado”** previo a la obtención del Título de Magíster en Ingeniería de la Construcción, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación, de tipo práctico de investigación de campo referido.

Guayaquil, a los 16 días del mes de noviembre del año 2015

LA AUTORA

Patricia Mercedes, Torres Haro



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

AUTORIZACIÓN

Yo, **Torres Haro, Patricia Mercedes**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Diseño de Hormigones en bajas temperaturas, para aplicación en las construcciones de la Estación Científica Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 días del mes de noviembre del año 2015

LA AUTORA:

Patricia Mercedes, Torres Haro

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso por darme la constancia y sabiduría para asimilar los conocimientos recibidos, a la Armada del Ecuador por permitirme actualizar y acceder a nuevos conocimientos, a los docentes de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil (UCSG), por su alto nivel académico y generosidad para compartir nuevas herramienta técnicas que me permiten enfrentar nuevos desafíos con mayor seguridad en las tareas asignadas por la Armada del Ecuador, por la motivación recibida en cada uno de los trabajos desarrollados, especialmente al Ingeniero Luis Octavio Yépez, MSc. Director del Laboratorio del Centro de Investigación de Estructuras (CEINVES), quien me motivo a desarrollar este tema y con su valiosa ayuda, contribuyeron al análisis de las muestras de hormigón traídas de la Antártida, que fueron el insumo principal de la investigación.

También expreso mis agradecimientos al Instituto Antártico Ecuatoriano (INAE), a la Fundación para el Desarrollo Marítimo, Fluvial y Lacustre (FUNDEMAR), por invitarme a participar en la XIV Expedición Antártica en donde tuve la oportunidad de conocer las dificultades de construir en una geografía con climas extremos en proceso de descubrimiento, tan enigmático y maravilloso y de aplicar los conocimientos técnicos recibidos; al Ing. Pablo Vásquez delegado de la UCSG en la XIV Expedición, cuyo trabajo muy profesional de levantamiento de datos y pruebas de materiales traídos de la Antártida, permitió realizar este trabajo de investigación, sin los cuales no habría sido posible conocer los resultados positivos alcanzados de la dosificación que asumí durante la construcción y de los registrado de temperatura del hormigón al hervir el agua.

A todos los miembros militares y civiles pertenecientes a diferente Repartos navales de la Armada del Ecuador, participantes en la XIV Expedición Antártica, especialmente a los que conformaron el equipo de construcción por el extraordinario esfuerzo físico realizado y el apoyo incondicional brindado durante la construcción del Módulo 4 de Laboratorios en la Estación Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado” en la Antártida.

Mis especiales agradecimientos al Ing. Ernesto Suárez, MBA tutor designado, por su valiosa ayuda quien con su guía, experiencia y paciencia permitió que pueda elaborar este trabajo de investigación y sea una guía para construcciones futuras en la Antártida.

Finalmente, agradezco al Teniente de Navío Ing.Mcs. Javier Arce, quien con su apoyo profesional contribuyo en la orientación de este trabajo de ingeniería, complementando mis conocimientos en esta área, ya que mi profesión principal es de Arquitectura. Así también, al señor Capitán de Navío – EMC Rafael Cabello por sus valiosos consejos para desarrollar este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mis padres queridos que Dios los tenga en su Gloria, quienes me inculcaron el espíritu de superación y constancia, a mis hermanos y sobrinos queridos, quienes han sido mi inspiración y el apoyo moral e incondicional durante estos años de preparación.

A los constructores en climas fríos, especialmente a los destinados a la Estación Científica Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado” en la Antártida, espero que esta experiencia y soluciones encontradas contribuyan a aclarar sus inquietudes y dar soluciones más prácticas, en el menor tiempo posible, empleando métodos constructivos óptimos y que les permita planificar con mayor precisión las futuras construcciones, tomando en consideración las variables presentadas en el presente estudio.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

CAPITULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA, CONTEXTO Y NECESIDADES A LA QUE RESPONDE.....	1
1.2 JUSTIFICACION.....	5
1.3 OBJETIVO GENERAL	5
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
CAPITULO 2.....	7
MARCO TEORICO.....	7
2.1 COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN EN BAJA TEMPERATURA	7
2.2 VACIADO DEL HORMIGÓN EN CLIMA FRIO	9
2.3 CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL HORMIGÓN.-.....	11
2.4 ADITIVOS QUÍMICOS	12
2.5 CURADO DEL HORMIGÓN	13
CAPITULO 3	15
DESCRIPCIÓN DE EXPERIENCIA DE CONSTRUCCIÓN EN LA ANTÁRTIDA	15
3.1 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS	15
3.2 METODO DE CONTROL DE TEMPERATURA DEL HORMIGÓN .	26
3.3 CONDICIONES DE TRABAJO DEL PERSONAL	34
CAPITULO 4.....	40
TOMA DE MUESTRAS Y ANALISIS DE LABORATORIO	40
4.1 INTRODUCCIÓN.....	40
4.2 ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA	40
4.3 ENSAYO DE SALINIDAD.....	45
4.4 ESTUDIO DE HORMIGÓN EXISTENTE	47
4.4.1 INTRODUCCIÓN.....	47

4.4.2	PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.....	47
4.4.3.	TOMA DE MUESTRAS DE CILINDRO EN MÓDULO 4.....	50
	CAPITULO 5.....	54
	DISEÑO DE HORMIGON CON MATERIALES DEL SITIO.....	54
5.1	INTRODUCCION.....	54
5.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS.....	54
5.3	RELACIÓN AGUA/CEMENTO.....	55
5.4	CONTENIDOS DE CEMENTO Y CÁLCULO DE AGREGADOS.....	56
	CAPITULO 6.....	65
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
6.1	CONCLUSIONES.....	65
6.2	RECOMENDACIONES.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorías y clases de exposición	8
Tabla 2. Requisitos para el hormigón según la clase de exposición	8
Tabla 3. Contenido total de aire para hormigón expuesto a ciclos de congelación y Deshielo	9
Tabla 4. Temperaturas de Concreto recomendadas según dimensiones.....	12
Tabla 5. Análisis de temperatura durante el colado del hormigón con aditivo y calentando el agua (FECHA DE TOMA DE DATOS: 15-ENE-2010)	28
Tabla 6. Análisis de temperatura durante el colado del hormigón con aditivo y calentando el agua (FECHA DE TOMA DE DATOS: 16-ENE-2010)	29
Tabla 7. Análisis de temperatura durante el colado del hormigón con aditivo y calentando el agua (FECHA DE TOMA DE DATOS: 18-ENE-2010)	30
Tabla 8. Análisis de temperatura durante el colado del hormigón sin aditivo y sin calentar el agua (FECHA DE TOMA DE DATOS: 19-ENE-2010)	31
Tabla 9. Análisis de temperatura durante el colado del hormigón sin aditivo y calentando el agua (FECHA DE TOMA DE DATOS: 23-ENE-2010)	32
Tabla 10. Análisis de temperatura durante el colado del hormigón sin aditivo y sin calentar el agua (FECHA DE TOMA DE DATOS: 24-ENE-2010)	33
Tabla 11. Resultado de ensayos de laboratorio de agregados	42
Tabla 12. Resultado de ensayos de laboratorio de agregados CALETA JAMBELI	42
Tabla 13. Resistencias de los elementos de hormigón obtenidas con esclerómetro.....	48
Tabla 14. Resultados obtenidos: pruebas esclerómetro Módulo 4.....	50
Tabla 15. Fechas de toma de muestras de cilindro al MODULO 4.....	51
Tabla 16. Resultado de ensayos a la compresión simple Módulo 4	52
Tabla 17. Requisitos para el hormigón según la clase de exposición	55
Tabla 18. Cantidad de agua en mezclas	58
Tabla 19. Ensayo granulométrico del agregado fino de Caleta Jambelí.	60
Tabla 20. Calculo de volumen aparente grueso.	60
Tabla 21. Calculo de granulometría del agregado grueso de Caleta Jambelí.	61
Tabla 22. Cuadro resumen de volúmenes y peso de los materiales para hormigón.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de las bajas temperaturas en relación a la resistencia	10
Figura 2. Efecto del hormigón congelado en la resistencia a compresión	10
Figura 3. Efecto de la Temperatura en tiempo de fraguado.....	13
Figura 4. Efecto del curado en la Resistencia a compresión del concreto.....	14
Figura 5. Ubicación Estación Ecuatoriana Antártica Pedro Vicente Maldonado	15
Figura 6. Archipiélago de las Shetland del Sur - ubicación Isla Greenwich.....	15
Figura 7. Isla Greenwich – Ubicación Estación Ecuatoriana Antártica “Pedro Vicente Maldonado”	16
Figura 8. Estación Meteorológica Antártica Presidente Edo Frei	17
Figura 9. Climograma Base Antártica Capitán Arturo Prat	17
Figura 10. Planta arquitectónica “Modulo 4. Laboratorio”	19
Figura 11. Sección “Modulo 4. Laboratorio”	19
Figura 12. Carta Internacional Náutica “PUNTA FORT WILLIAM” (ISLA GREENWICH)	22
Figura 13. Granulometrías de Áridos Finos.....	43
Figura 14. Granulometrías de Áridos Gruesos	44
Figura 15. Ubicación Pruebas no Destructivas Modulo 4. Laboratorio	49
Figura 16. Ubicación toma de muestra de cilindros de hormigón.....	51

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Estación Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado” 26-DIC-2009	4
Foto 2. Estación Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado” 30-ENE – 2010.....	4
Foto 3. Estación Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado” 17-DIC-2009	18
Foto 4. Limpieza de Terreno para Construcción del Módulo 4.	20
Foto 5. Toma muestras de suelo.....	21
Foto 6. Retenido 3,2mm agregado grueso 82,14%.....	21
Foto 7. Estructura del plinto	21
Foto 8. Limpieza de vía de acceso a Caleta Jambelí, para la obtención de los agregados	22
Foto 9. Transporte de Agregado Caleta Jambelí.....	23
Foto 10. Fundición de Replanteo	24
Foto 11. Elaboración de Separadores de 50mm. para Recubrimiento del acero	25
Foto 12. Lectura Temperatura de Agua Caliente con Aditivo.....	26
Foto 13. Lectura de la Temperatura del Hormigón.	27
Foto 14. Fundición de Plintos.....	27
Foto 15. Hidratación al personal de la construcción.	35
Foto 16. Preparación Manual del Hormigón	36
Foto 17. Fundición de Riostras del Módulo 4. CPNV-CSM Patricia Torres y SUBS-HI Molina.....	36
Foto 18. Estado de la Estructura metálica del Módulo 4 el 12-FEB-2010, junto al personal militar y civil que intervino en la construcción.	37
Foto 19. Transporte de Agregado de Caleta Jambelí.....	40
Foto 20. Áridos Finos	41
Foto 21. Ensayo Absorción y Gravedad	41
Foto 22. Áridos Gruesos.....	41
Foto 23. Tamizado árido grueso	41
Foto 24. Prueba de Salinidad a los Agregados.....	45
Foto 25. Captación de agua	46
Foto 26. Almacenamiento de agua de deshielo 120.....	46
Foto 27. Pruebas no destructivas con Esclerómetro a los Módulos 1, 2 y 3.	47
Foto 28. Toma de Resistencia a la Compresión	49
Foto 29. Toma de Muestras de Hormigón.....	52
Foto 30. Desmoldado.....	52
Foto 31. Ensayo de Compresión Simple.	52
Foto 32. Rotura de Cilindro.....	52
Foto 33. Transporte de Muestras de Cilindro.....	53

RESUMEN

El presente trabajo está enfocado en realizar el diseño de hormigones de alta resistencia, en bajas temperaturas para futuras construcciones en la Estación Científica Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado” en la Antártida, en base a resultados de laboratorio de muestras de agregados traídas del lugar, la experiencia vivida en la construcción del Módulo 4 de Laboratorios, al haber participado en la XIV Expedición Antártica de diciembre del 2009 a febrero del 2010 y a los excelentes resultados obtenidos de las muestras de hormigón de la cimentación, tomadas en obra y analizadas en el Laboratorio de Estructuras del Centro de Investigación de Estructuras (CEINVES) de la UCSG, que alcanzaron resistencias de 417Kg./cm² con cemento Portland.

Se detallan las normativas ecuatorianas e internacionales existentes para elaborar hormigones en climas extremos, incorporación de aditivos que garanticen la elaboración de hormigones de altas resistencias, control de temperatura y curado de hormigón. La descripción de las dificultades vividas del vaciado de hormigón en la Antártida al congelarse el agua, la importancia de haberla calentado para mantener una temperatura adecuada del hormigón y la dosificación asumida de agregado y cantidad de agua, que garantizo obtener altas resistencias, llevando un registro estadístico de temperatura del clima y del hormigón, control de la dosificación y curado. Además de tomas de muestras de hormigón, de agregados del lugar, de salinidad, ensayos de compresión simple y pruebas no destructivas de hormigones existentes en años anteriores y los fabricados (cimentaciones) en la XIV Expedición Antártica.

Con los resultados de laboratorio obtenidos de los agregados y las normativas vigentes, en este trabajo se realizó el diseño para un hormigón de 350 Kg/cm², para nuevas construcciones en la Estación Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado en la Antártida, lo cual permitirá determinar con exactitud las cantidades de materiales a transportar y prever las dificultades en su elaboración en sitios similares.

Palabras Claves: resistencia del hormigón, congelamiento del hormigón, ensayos, bajas temperaturas, agregados, calentamiento del agua, termocuplas, esclerómetro.

INTRODUCCIÓN

En el capítulo I se describe los antecedentes e importancia de la presencia del Ecuador en la Antártida, que permitieron construir la Estación Científica Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado, hacia la cual anualmente se realizan expediciones científicas en el verano antártico y las razones de la participación en la XIV expedición Antártida para construir el Módulo 4 de Laboratorios. Luego, en el mismo capítulo se define los justificativos, objetivo general y específico para obtener métodos que mejoren la resistencia del hormigón en climas extremos.

En el capítulo II se detalla el marco teórico del comportamiento de hormigón en climas fríos, el control de la temperatura del hormigón, el uso de aditivos y el curado de hormigón que debe preverse para garantizar la resistencia esperada.

En el capítulo III se describe la experiencia de construir en la Antártida, los procedimientos constructivos utilizados, los métodos y estadísticas registradas del control de temperatura del hormigón utilizando termocuplas y la dosificación empleada que permitieron alcanzar altas resistencias del hormigón, durante la fundición de la cimentación del Módulo 4.

En el capítulo IV se describe la toma de muestras de agregados y hormigón, el análisis de laboratorio de granulometría, salinidad y estudios de hormigón existente, mediante pruebas no destructivas con esclerómetro. Además, de la toma de muestras de cilindros de hormigón durante la fundición de plintos y riostras del Módulo 4 de Laboratorios.

En el capítulo V se realiza el diseño del hormigón para obtener una resistencia a la compresión de 350 Kg/cm² por metro cúbico, en base a los resultados de laboratorio de las muestras de agregados finos y gruesos obtenidos de la Caleta Jambelí (Antártida), fuente de materiales para la construcción del Módulo 4, la relación agua/cemento para climas fríos de las Normas Ecuatorianas de Construcción y el procedimiento de diseño de los componentes del hormigón: contenido del cemento, agregado fino y grueso. Además, el cálculo de volúmenes efectivos y peso del cemento, agua, agregado fino y grueso.

En el capítulo VI se detallan las conclusiones y recomendaciones del proceso de estudios, ensayos y procedimientos empleados en la fabricación de hormigones en climas fríos y de las normativas existentes.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA, CONTEXTO Y NECESIDADES A LA QUE RESPONDE

La primera Declaración de los Derechos Ecuatorianos en la Antártida lo realiza la Asamblea Nacional Constituyente el 27 de febrero de 1967, después de 20 años, el Congreso Nacional aprueba la Adhesión del Ecuador al Tratado Antártico el 24 de junio de 1987 (R.O. 823, diciembre 1987) y se asigna a la Armada del Ecuador la tarea de crear el Instituto Ecuatoriano de investigación y estudios Antárticos, además de organizar la I expedición Ecuatoriana en el buque de investigación “ORION”. Ante este hecho, el Ejecutivo mediante Decreto 3126 dispone depositar el documento de adhesión de nuestro país al Tratado Antártico, documento internacional vigente que regula las actividades en la Antártida. (Instituto Antartico Ecuatoriano, 2012).

En la nueva Constitución del 2008, en el Capítulo I Artículo 4to, en la cuarta estrofa establece *“El Estado ecuatoriano ejercerá derecho sobre los segmentos correspondientes de la órbita sincrónica geoestacionaria, los espacios marítimos y la Antártida”*.

Posteriormente, la adhesión al Tratado Antártico suscrito el 5 de agosto de 1987, dio inicio a la primera expedición ecuatoriana hacia el continente blanco, inaugurando un refugio tipo contenedor en la Isla San Jorge, en el archipiélago de las Shetland del Sur, con el fin de cumplir el requisito de los países miembros del Tratado Antártico y justificar el interés de realizar investigaciones científicas.

El Ministerio de Defensa Nacional en el año 1988, crea el Programa Antártico Ecuatoriano, adscrito al Instituto Oceanográfico de la Armada, responsable de planificar actividades científica y logística de las Expediciones.

Después de la II Expedición Ecuatoriana a la Antártida en 1990, y construir el primer módulo de la Estación Científica “Pedro Vicente Maldonado”

de un total de cuatro Módulos o edificios, ubicados en la Punta Fort William de la Isla Greenwich, Shetland del Sur, en la siguiente posición geográfica: latitud 62°26' 57,6'' Sur y longitud 59°44'32,1'' Oeste, el Ecuador es aceptado como Miembro Consultivo del Tratado el 19 de noviembre de 1990 y el 15 de junio de 1992 es aceptado como Miembro Pleno del Comité Científico de Investigaciones Antárticas (SCAR por sus siglas en Ingles), comité que orienta la actividad científica tomando en cuenta los intereses nacionales.

Desde el 02 de marzo de 1990 en que se inaugura la Estación Pedro Vicente Maldonado en la Isla Greenwich, Punta Fort William, hasta la presente fecha, durante 19 expediciones, se ha desarrollado la infraestructura existente, conformada por los módulos 1, 2, 3, 4 de la Estación y los cimientos del 5to correspondiente a la casa de botes, ejecutado en enero del 2015. Estas edificaciones permiten realizar actividades administrativas, brindar alojamiento (a 35 miembros) y facilidades de investigación a científicos ecuatorianos, durante el verano antártico (diciembre a marzo), ya que las condiciones actuales de las instalaciones, son insuficientes para soportar durante todo el año la logística en la estación.

Luego de la visita realizada por el Presidente de la República, Economista Rafael Correa el 4 de febrero del 2011 durante la XV expedición, se dispone elaborar un estudio de factibilidad con el propósito de desarrollar expediciones con el carácter de “permanentes”.

De acuerdo a las políticas del Estado y a los objetivos del Instituto Nacional Antártico Ecuatoriano (INAE), se pretende desarrollar instalaciones para albergar hasta 40 personas durante todo el año, acondicionando las edificaciones existentes con la climatización adecuada para soportar el invierno antártico y construyendo la infraestructura complementaria para brindar el apoyo logístico al personal designado (áreas administrativas, ampliación de cocina, comedor, talleres, hangares y rampas para embarcaciones, varaderos, helipuerto, calderos, generadores, planta de aguas servidas, etc.).

Con estos antecedentes debo señalar que en septiembre del 2009 fui invitada por el Instituto Antártico Ecuatoriano (INAE) a participar en la definición del alcance del proyecto de “ESTUDIO DE LA EFICIENCIA SOBRE

TRANSFERENCIA CALÓRICA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE LABORATORIOS EN LA ESTACIÓN ECUATORIANA “PEDRO VICENTE MALDONADO EN LA ANTARTICA”, para el cual existía un convenio con la Fundación para el Desarrollo Marítimo, Fluvial y Lacustre (FUNDEMAR), quienes financiaban el proyecto que incluía la construcción de un Laboratorio, a ser ejecutado en la XIV ESPEDICIÓN de DIC-2009 a FEB-2010.

Con esta oportunidad como alumna egresada del Sistema de Posgrado Ingeniería de la Construcción II Promoción, de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, se solicitó apoyo al Laboratorio de Estructuras del Centro de Investigación de Estructuras (en adelante CEINVES), en donde se definió el alcance de los estudios que podrían efectuarse: 1. Estudio térmico; 2. Estudio de Corrosión; 3. Estudio de Hormigón y 4. Estudio de Agregado; definiéndose los métodos de medición de transferencia calórica de paneles con termocuplas tipo K; estudio de hormigón de las estructuras existentes con pruebas no destructivas utilizando esclerómetro; medición de tiempo de fraguado con aguja de Vicat y toma de muestras de cilindros de hormigón del módulo No. 4 destinado a Laboratorios a ser construido en esta expedición y recolección de muestras de los agregados del lugar.

El INAE solicitó mediante convenio a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, su participación con un delegado para hacer el levantamiento de la información en la Antártida, designándole al Ing. Pablo Vásquez, quien realizó la toma de datos y muestras en la Estación Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado, de los cilindros de hormigón (tomados durante la construcción del Módulo No. 4 Laboratorio) y luego las pruebas de compresión simple en el Laboratorio de Estructuras (CEINVES) de la UCSG.

A petición de la FUNDEMAR, el mando naval me designa como Delegada para hacer el seguimiento del estudio de los materiales y encargada de la construcción del 4to Módulo de Laboratorios, siendo la primera oficial mujer especialista en haber llegado a la Estación Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado en la Antártida del 17-DIC-2009 al 17-FEB-2010.

Es precisamente a partir de esta valiosa experiencia en la Antártida que surgió la idea de compartir las vicisitudes por las que atravesamos un grupo de técnicos en la construcción de estas obras en una tierra tan lejana y bajo condiciones climáticas extrema y en que se pudo experimentar en forma especial las dificultades de la preparación del hormigón por el efecto de las bajas temperaturas en los materiales de construcción, especialmente el congelamiento del agua.



Foto 1. Estación Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado” 26-DIC-2009



Foto 2. Estación Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado” 30-ENE – 2010

Se debe aclarar que las expediciones a la Antártida, se realizan aproximadamente de enero a marzo en el verano antártico, ya que la temperatura

en esta época permite realizar, con las dificultades que se van a describir, las tareas de mantenimiento, construcciones e investigaciones.

Me permito anticipar que una de las experiencias obvias adquiridas en aquella ocasión fue, que el tiempo limitado para construir una infraestructura de tipo permanente en la Estación Pedro Vicente Maldonado en la Antártida, estableció la necesidad de contar con procedimientos y métodos constructivos debidamente planificados, que garanticen la buena ejecución y durabilidad de las estructuras, especialmente los elementos de hormigón armado. El clima de esta zona, a pesar de ser verano (-3°C a 10°C), es variable e impredecible, lo que puede impedir las labores del personal hasta por tres días seguidos, congelándose el agua y dificultando la preparación de hormigones bajo estas temperaturas.

1.2 JUSTIFICACION

Se trata de obtener la determinación de un método y mezcla óptima para fundición de hormigón en el área de PEVIMA (Estación Pedro Vicente Maldonado), lo que contribuirá a determinar con exactitud, la cantidad de material a ser transportado, los volúmenes de obra que se puede ejecutar en el corto tiempo de permanencia en la Estación (promedio 2 meses), prever las dificultades que se puedan presentar, los métodos de curado que garanticen un buen fraguado y obtener la resistencia de diseño establecida, para seguridad y durabilidad de las estructuras a construirse.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Proponer un método práctico dirigido a los constructores que, bajo circunstancias especiales, tengan que trabajar en temperaturas bajas, mediante el uso de procedimientos documentados, que permitan mejorar la resistencia de los hormigones preparados en el lugar y solventar además procedimientos constructivos adecuados para estas condiciones.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir las experiencias vividas durante la construcción del Módulo 4 en la PEVIMA, indicando los criterios técnicos manejados, y a veces improvisados, con los consecuentes aciertos, errores y correcciones que hubo que realizar.
- Recopilar las normativas existentes para elaborar hormigones en climas extremos.
- Incorporar la utilización de aditivos que garanticen la elaboración de hormigones con las resistencias esperadas.
- Establecer una guía de construcción, con métodos de colocación del hormigón en base a la experiencia adquirida en el sitio de la obra.

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1 COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN EN BAJA TEMPERATURA

Las bajas temperaturas influyen en las propiedades físicas y la vida útil de los hormigones, causando problemas en el mezclado, vaciado, tiempo de curado del hormigón, produciéndose efectos desfavorable en las propiedades si no se toman en cuenta los parámetros y normativas para su elaboración. Este trabajo se ha desarrollado para facilitar el diseño de la construcción del hormigón de calidad en climas fríos.

De acuerdo a las recomendaciones para lograr estructuras durables del Código ACI 201.2R-01, establece que el hormigón que ha de estar expuesto a una combinación de humedad y ciclos de congelamiento, debe cumplir con lo siguiente:

- *Un diseño de la estructura que minimice su exposición a la humedad;*
- *Baja relación agua/cemento;*
- *Adecuada incorporación de aire;*
- *Materiales de buena calidad;*
- *Adecuado curado antes del primer ciclo de congelamiento; y*
- *Particular atención a las prácticas constructivas.*

Así también, en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) Diciembre 2014, actualizado por el MIDUVI, según Registro Oficial, Año II, Nro. 41326 del 10-ENE-2015, establece los parámetros del hormigón de cemento hidráulico para una larga vida útil, el mismo que debe tener la precaución de asegurar la calidad en:

- Resistencias mecánicas
- Resistencia a agentes agresivos

En el caso del estudio de hormigón en bajas temperaturas que se va a tratar en este documento, se pondrá más atención a los requisitos del hormigón según la categoría y clase de exposición al frío detallados en la Tabla 1, de la NEC, para definir los parámetros a considerar para el diseño de hormigón a utilizar en las construcciones en la Estación Antártica PEVIMA,

Tabla 1. Categorías y clases de exposición

Categorías	Severidad	Clase	Condición
F Congelación y deshielo	No existe	F0	Hormigón no expuesto a ciclos de congelación y deshielo.
	Moderada	F1	Hormigón expuesto a ciclos de congelación, deshielo y exposición ocasional a la humedad.
	Severa	F2	Hormigón expuesto a ciclos de congelación, deshielo y en contacto continuo con la humedad.
	Muy severa	F3	Hormigón expuesto a ciclos de congelación, deshielo y que esté en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos para descongelar.

Fuente: NEC 2014

Además, debe cumplir con requisitos más severos de restricción, como la relación agua/cemento máximo a/c , detallados en la Tabla 2 sobre los requisitos para el hormigón según la clase de exposición y del porcentaje contenido de aire para hormigones expuestos a congelamiento de acuerdo al tamaño del agregado en la Tabla 3. La tolerancia en el contenido de aire incorporado, será de $\pm 1.5\%$. Para un f'_c mayor de 35 MPa, se puede reducir en 1% el aire incorporado.

Tabla 2. Requisitos para el hormigón según la clase de exposición

Clase de exposición	Relación a/c máx.	f'_c mín. MPa	Requisitos mínimos adicionales		
			Contenido de aire		Límites en los cementantes
F0	N/A	17	N/A		N/A
F1	0.45	31	Tabla 5		N/A
F2	0.45	31	Tabla 5		N/A
F3	0.45	31	Tabla 5		Tabla 6

Fuente: NEC 2014

Tabla 3. Contenido total de aire para hormigón expuesto a ciclos de congelación y Deshielo

Tamaño nominal máximo del agregado ¹ (mm)	Contenido de aire en porcentaje	
	Exposición Clase F1	Exposición Clases F2 y F3
9.5	6.0	7.5
12.5	5.5	7.0
19.0	5.0	6.0
25.0	4.5	6.0
37.5	4.5	5.5
50.0 ²	4.0	5.0
75.0 ²	3.5	4.5

¹ Para las tolerancias de tamaño, ver las especificaciones [NTE INEN 872](#) (ASTM C 33).

Fuente: NEC 2014

2.2 VACIADO DEL HORMIGÓN EN CLIMA FRÍO

“El Comité 306 del ACI (American Concrete Institute) define el clima frío como un período cuando, por más de tres días consecutivos, existen las siguientes condiciones:

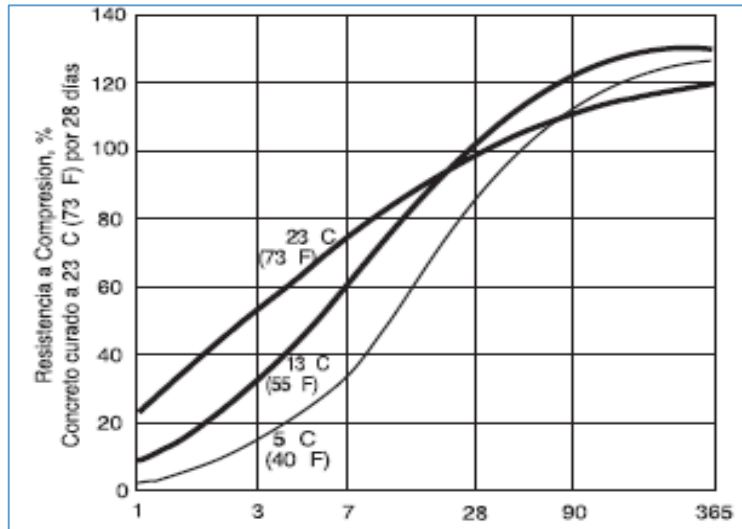
- 1) La temperatura ambiente promedio del aire es de menos de 4 °C (40 °F) y
- 2) la temperatura del aire no es mayor de 10 °C (50 °F) por más de medio día en un período de 24 horas. La temperatura del aire diaria es el promedio de la más alta y la más baja temperatura que ocurre durante un período de media noche a media noche.”

Fuente: asocreto.org.co/boletín/infraestructura1_2014/3

En el reporte del ACI 306 R-88 acerca del “Vaciado de hormigón a Bajas Temperaturas” se expresa que “debe aprovechar las oportunidades proporcionadas por el clima frío para vaciar hormigón a bajas temperaturas, como se observa en la Figura 1 (entre 5°C y 13 °C), protegiéndolo contra el congelamiento y el curado por largo tiempo. Así desarrolla resistencias finales más altas y de mayor durabilidad, en comparación a hormigones fundidos sobre las 20 °C”.

Fuente: asocreto.org.co/boletín/infraestructura1_2014/3

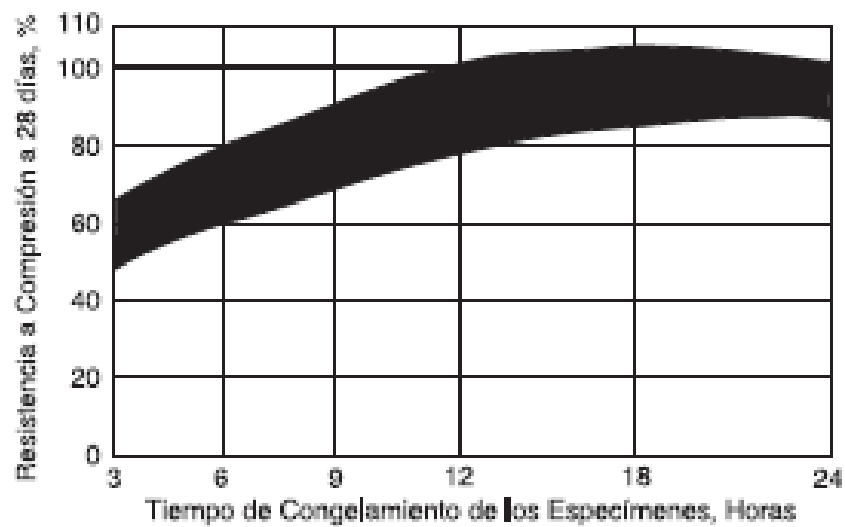
Figura 1. Efecto de las bajas temperaturas en relación a la resistencia



Fuente: PCA, “Diseño y control de Mezclas de Concreto”

En temperaturas bajo cero el hormigón debe ser especialmente protegido al ser vaciado, caso contrario se afecta su tiempo de fraguado, el desarrollo de resistencias y la durabilidad del hormigón. Debe evitarse el congelamiento del hormigón puesto que puede llegar a tener una pérdida de hasta el 50% de resistencia a la compresión a los 28 días (ver figura 2). Además, la hidratación normal no ocurrirá y el tiempo de fraguado del hormigón se afectará seriamente.

Figura 2. Efecto del hormigón congelado en la resistencia a compresión



Fuente: ACI Publicación SP-39 “Comportamiento del Concreto Bajo Temperaturas Extremas”

Para asegurar el desempeño satisfactorio de las resistencias normales del hormigón, se han implementado prácticas para el vaciado del hormigón en climas fríos, como son:

- *“Mantener condiciones de curado que permitan el desarrollo normal de resistencias*
- *Asegurar que el concreto desarrolle la resistencia requerida para la remoción segura de los encofrados.*
- *Prevenir el daño al concreto debido al congelamiento a edades tempranas.*
- *Limitar los cambios rápidos en la temperatura del hormigón para soportar los esfuerzos térmicos”.* (BASF The Chemical Company, 2014)

Fuente: asocreto.org.co/boletín/infraestructura1_2014/3

2.3 CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL HORMIGÓN.-

Cuando se vacíe hormigón en climas fríos, se deberá controlar la temperatura de la mezcla del hormigón, tomando en cuenta el tamaño del elemento estructural, ya que si son menores de 300mm, la temperatura mínima debe ser 13°C, mientras que si son de secciones entre 300mm a 900mm, la temperatura mínima del hormigón debe ser 10°C. La tabla 4 muestra las temperaturas mínimas que deberá tener el hormigón.

Tabla 4. Temperaturas de Concreto recomendadas según dimensiones

Temperaturas de Concreto Recomendadas			
Línea	Temperatura del Aire	Tamaño de la Sección, dimensión mínima, mm.	
		< 300 mm (<12)	300 a 900 mm (12-36)
Temperatura mínima del concreto vaciado y mantenido			
1	-	13 °C (55 °F)	10 °C (50 °F)
Temperatura mínima del concreto mezclado para la temperatura del aire indicada*			
2	< -1 °C (30 °F)	16 °C (60 °F)	13 °C (55 °F)
3	-18 a -1 °C (0-30 °F)	18 °C (65 °F)	16 °C (60 °F)
4	> -18 °C (<0 °F)	21 °C (70 °F)	18 °C (65 °F)
Pérdida gradual máxima de temperatura permisible, 24 horas después del final de la protección			
5	-	10 °C (50 °F)	5 °C (40 °F)

*Para climas más fríos se proporciona un margen mayor de temperatura entre el concreto mezclado y la temperatura mínima requerida para el concreto fresco colocado.

Fuente: ACI Publicación SP-39 “Comportamiento del hormigón Bajo Temperatura Extremas”

Ahora bien, las normas indican que el usar hormigones de alta temperatura no garantiza mayor protección contra el congelamiento, ya que se ha demostrado que la pérdida de calor es mayor cuando la temperatura del hormigón es mayor que la temperatura ambiental. Para propósitos de control de la temperatura del hormigón, se deberá tomar en cuenta que, de los componentes del hormigón, el que más controla su temperatura es el agua. Al calentarla se almacena 5 veces más calor que el de los otros componentes de igual peso.

2.4 ADITIVOS QUÍMICOS

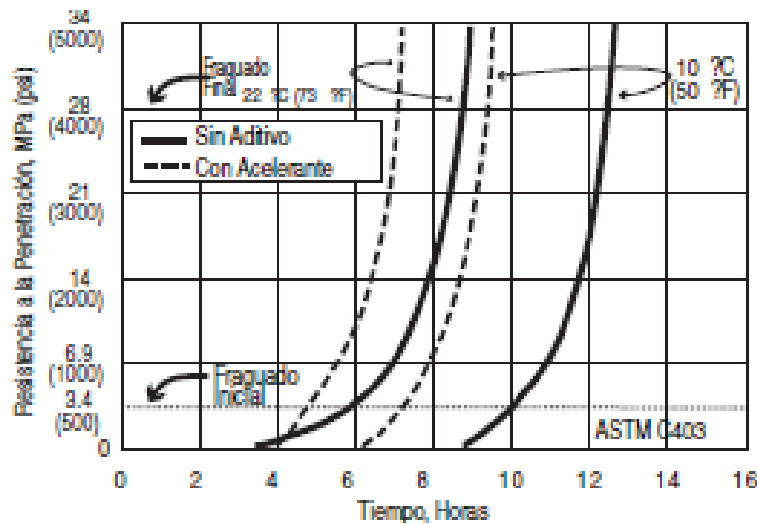
Para climas fríos la norma ASTM C-494M “Especificación para aditivos químicos utilizados en la elaboración de hormigón” recomienda el uso de algunos aditivos químicos como reductores de agua y acelerantes, que mejoran el concreto durante la fundición. Los beneficios obtenidos de éstos aditivos incluyen:

- *Menor demanda de agua – mínimo 5%.*
- *Mejor trabajabilidad durante el vaciado.*
- *Tiempo de fraguado más rápido (ver Figura 3).*

- Incremento en las resistencias tempranas.
- Rápida remoción y reuso de encofrados

Fuente: asocreto.org.co/boletín/infraestructura1_2014/3

Figura 3. Efecto de la Temperatura en tiempo de fraguado



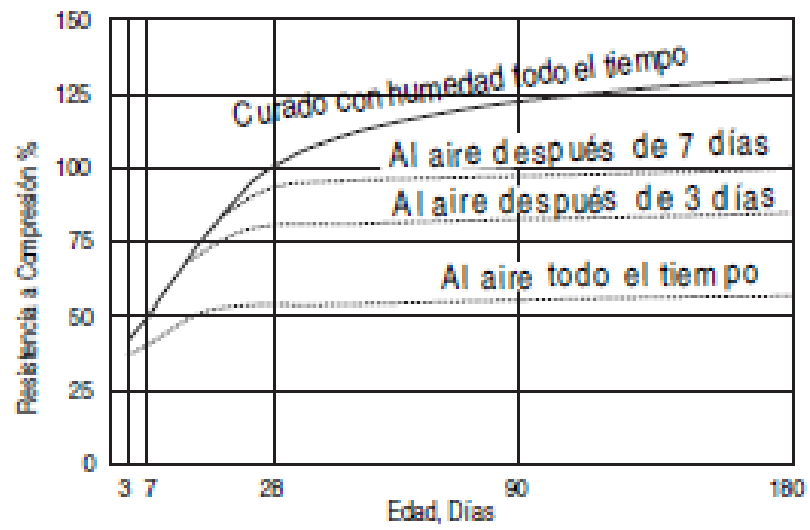
Fuente: BASF CONSTRUCTION CHEMICAL LATIN AMERICAN-
Vaciado del concreto en climas fríos

2.5 CURADO DEL HORMIGÓN

El curado es el proceso que se realiza durante el fraguado del hormigón para asegurar la adecuada permanencia del agua interior y prever así que se cumpla con las características que debe reunir el hormigón conforme a las especificaciones técnicas de cada obra. El curado mínimo recomendado es de 7 días, como se aprecia en la Figura 4, lo cual garantizará obtener mayores resistencias. El curado debe durar hasta que el hormigón haya alcanzado mínimo el 70% de la resistencia especificada y así evitar las formaciones de grietas que disminuyen esta resistencia y durabilidad del hormigón.

Cuando se funde hormigón en climas fríos, se lo debe proteger del secado en forma inmediata para que ocurra la hidratación adecuada. En estos casos se recomienda para el curado, el uso de plásticos y papel impermeable, hojas blancas de curado y membranas de curado. No es conveniente el uso de agua para el curado en climas fríos.

Figura 4. Efecto del curado en la Resistencia a compresión del concreto



Fuentes: PCA, “Design and Control of Concrete Mixtures”

CAPITULO 3

DESCRIPCIÓN DE EXPERIENCIA DE CONSTRUCCIÓN EN LA ANTÁRTIDA

3.1 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS

Figura 5. Ubicación Estación Ecuatoriana Antártica Pedro Vicente Maldonado



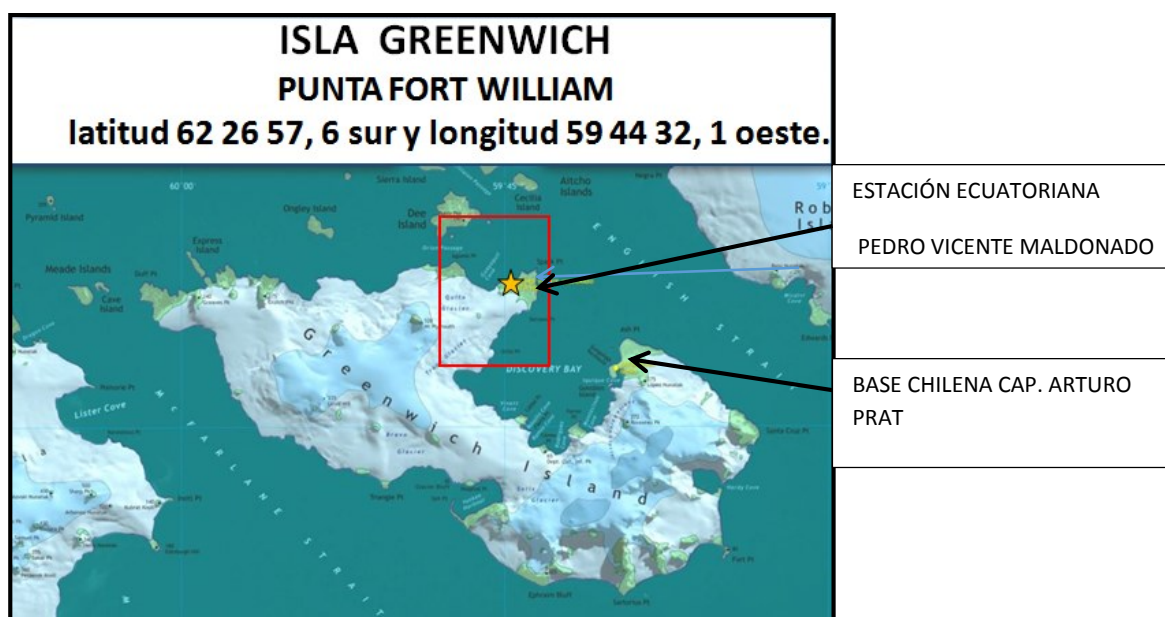
Fuente: Ecosistemas Polares Antártida y Ártico, Ordoñez N.

Figura 6. Archipiélago de las Shetland del Sur - ubicación Isla Greenwich



Fuente: Archipiélago de las Shetland del Sur. Google.

Figura 7. Isla Greenwich – Ubicación Estación Ecuatoriana Antártica “Pedro Vicente Maldonado”



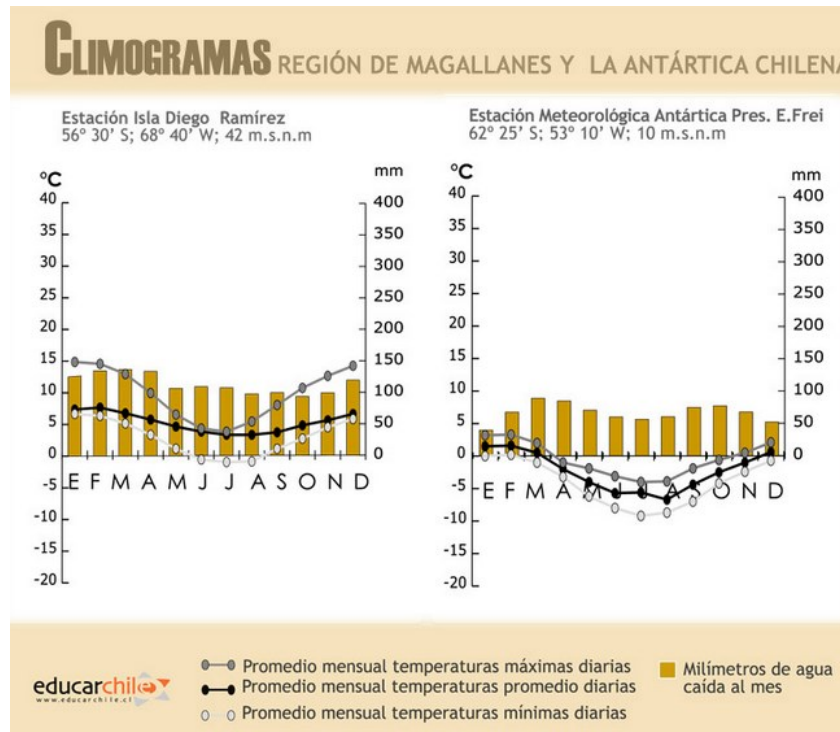
Fuente: Mapas de la isla Greenwich. Google

El Instituto Antártico Ecuatoriano realizó la planificación del traslado de los materiales y estructura pre-fabricada enviando en contenedores hasta Punta Arenas, ciudad chilena ubicada al sur del continente, donde existe un campamento ecuatoriano, en el que se guardan los equipos y trajes para los expedicionarios que viajan cada año en el verano antártico y luego es transportado todo el material hasta la Estación Ecuatoriana ubicada en la Isla Greenwich del Archipiélago de las Shetland del Sur, en buques de la Armada Chilena. Al momento del arribo a la Estación el 17-DIC-2009, las condiciones del clima eran desfavorables al encontrar un entorno cubierto de nieve de 2 m. en el lugar previsto para la construcción, (situación que no se había presentado en años anteriores), según se aprecia en la Foto tres, dificultándose también la obtención de los agregados y las variables que se producen durante el transporte de los materiales.

El clima de la Antártida es un clima polar y la temperatura promedio del mes más cálido está entre cero a cuatro grados Centígrados en el verano antártico, entre el 21-DIC a 21-MAR, según los climogramas de la Figura 8 y 9 registrados en las bases Antárticas chilenas Presidente Eduardo Frei en la Isla San Jorge y Capitán Arturo Prat en la Isla Greenwich, las más cercanas a la Estación

Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado, a 30 minutos viajando en bote en buenas condiciones climáticas.

Figura 8. Estación Meteorológica Antártica Presidente Edo Frei



Fuente: <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=132557>

Figura 9. Climograma Base Antártica Capitán Arturo Prat

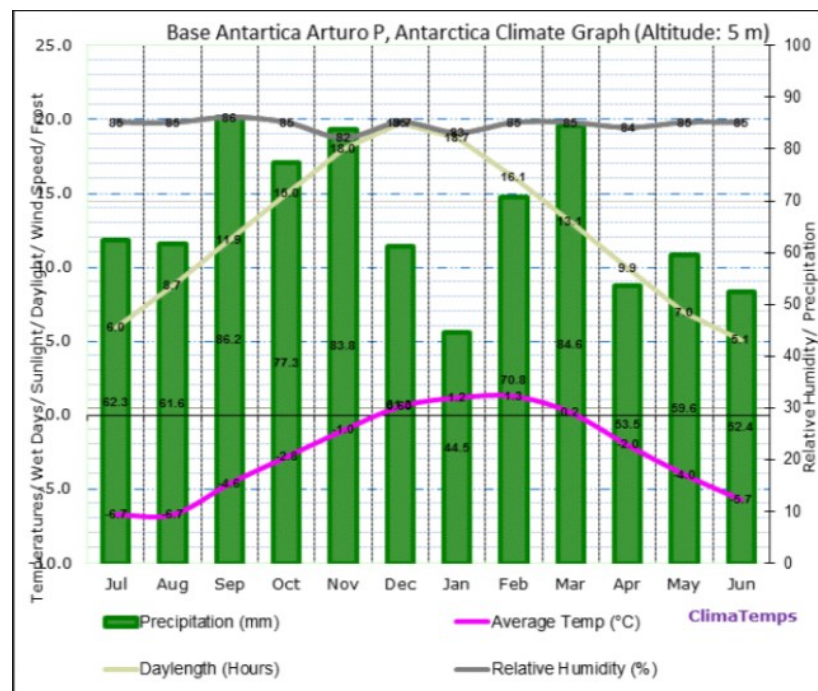
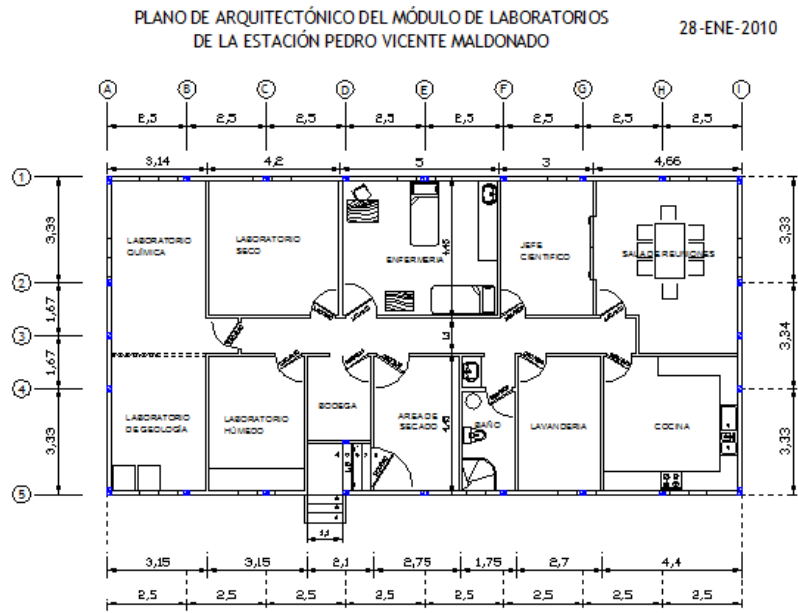




Foto 3. Estación Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado” 17-DIC-2009

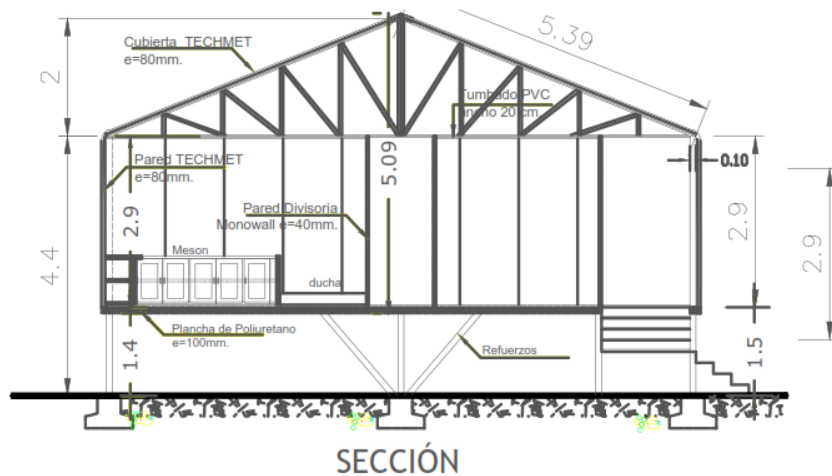
La construcción del Módulo No.4 para Laboratorios, de 10,00 x 20,00 M, según Planta arquitectónica de la Figura 10, consistía en una estructura metálica recubierta de paneles de planchas de acero galvanizado, tipo sandwich, relleno de poliuretano de alta densidad de 10 cm de espesor, con una cimentación de hormigón armado y columnas metálicas, a 1,50 m., elevada sobre el terreno natural, según sección de la Figura 11. Esta obra, de acuerdo al cronograma de actividades y proyecto del Instituto Antártico Ecuatoriano INAE, estaba planificada ejecutarse en un mes.

Figura 10. Planta arquitectónica “Modulo 4. Laboratorio”



Fuente: Rediseño. Autoría propia

Figura 11. Sección “Modulo 4. Laboratorio”



Fuente: Rediseño. Autoría propia

Para iniciar el replanteo y excavación de la cimentación, el desalajo de la nieve fue realizado con una minicargadora, que existe en el lugar, lo cual facilitó el trabajo, sin embargo se ejecutó en 15 días como se aprecia en la Foto 4. Por lo variable del clima, no permitía trabajar todos los días en áreas exteriores, ya que la velocidad del viento que llegó hasta 70 nudos, hacía descender la sensación térmica hasta -35°C , impidiendo al personal salir de la Estación.



Foto 4. Limpieza de Terreno para Construcción del Módulo 4.

Se realizó una perforación en el sitio destinado a la construcción, para conocer el tipo de suelo que va a soportar la nueva estructura, encontrándose que bajo la capa de 2,00m. de nieve, había una capa de hielo de 0,30m., por lo tanto, se continuó con maquinaria la excavación hasta -1,22m. bajo el nivel natural del terreno, según Foto 5, realizando la toma de 7 muestras del suelo en las diferentes capas, las cuales fueron secadas en el horno de cocina y sometidas a pruebas de tamiz con 2 mallas disponibles en el lugar, de 3,2mm (malla de tamizado) y 1mm.(tipo colador de cocina), existiendo un retenido de agregado grueso a la malla de 3,2mm. del 82,14%, según el peso registrado en la Foto 6. Estas pruebas sencillas permitieron un diseño básico de la cimentación con los materiales existentes en el lugar, mediante plintos tipo paralelepípedo de 0,80x0,80 m., con una estructura armada según se observa en la Foto 7, diseño elaborado por el Ing. Pablo Vásquez, delegado de la UCSG.



Foto 5. Toma muestras de suelo



**Foto 6. Retenido 3,2mm agregado grueso
82,14%.**



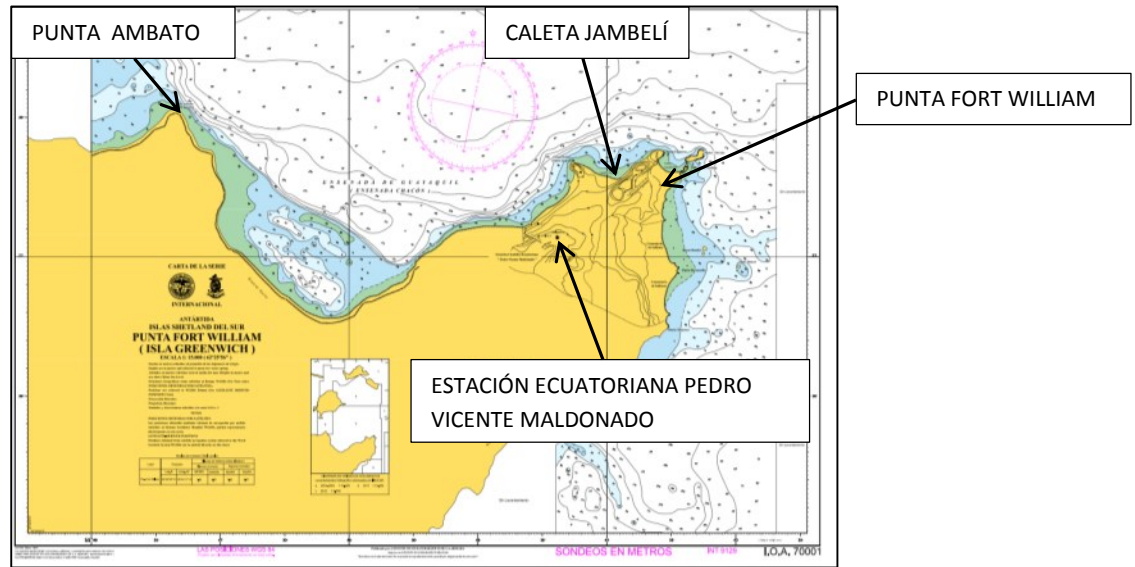
Foto 7. Estructura del plinto

El cemento disponible estaba limitado a 115 sacos de cemento Portland, por lo tanto era indispensable tomar medidas para evitar al máximo el desperdicio.

Ahora bien, para la preparación del hormigón se necesitaba obtener piedra y arena de lugares más cercanos a la construcción, pero la nieve que cubría

el entorno de la Estación, dificultó ubicar una fuente cercana. Así que hubo que tomar 2 muestras de arena y una de piedra en dos puntos distintos: en Punta Fort Williams y Punta Ambato, según se aprecia en la Figura 12.

Figura 12. Carta Internacional Náutica “PUNTA FORT WILLIAM” (ISLA GREENWICH)



Fuente: Levantamiento Hidrográfico efectuado por Instituto Oceanográfico 26-Marzo 2010



Foto 8. Limpieza de vía de acceso a Caleta Jambelí, para la obtención de los agregados

- Punta Ambato en la coordenada geográfica 62°26'30.3" S 59°47'16.5" W, ubicado a 15 minutos en bote, al Nort-oeste de la Estación Ecuatoriana, se consideró inicialmente como la mejor opción para abastecernos de piedra y arena, porque se encontraba cubierto de nieve todo el entorno de la Estación, según Foto 8, a pesar de que el transporte sería en bote, ya que despejar la nieve con la maquinaria de la ruta de acceso a la playa de Caleta Jambelí, se estimaba iba a tomar mayor tiempo. En este lugar se tomó muestras de arena.
- Caleta Jambelí a 600m. de la Estación PEVIMA, en la playa: a medida que los días pasaban, el clima del verano antártico mejoró llegando inclusive hasta 6°C, lo que facilitó el deshielo y permitió despejar con maquinaria más rápidamente la vía de acceso a la playa. En este lugar se logró tomar muestras de arena y piedra, según Foto 9, constituyéndose posteriormente en la cantera de abastecimiento de la construcción del Módulo 4., lugar desde el cual se pudo transportar el material.



Foto 9. Transporte de Agregado Caleta Jambelí

Por otra parte, en el laboratorio de química de la Estación PEVIMA, con la ayuda del Dr. Luis BURBOS, funcionario del INOCAR, se realizaron las pruebas de salinidad a las muestras de agregados que estaban a pocos metros de la

playa, a fin de verificar que no exista cloruro de sodio, que pueda afectar a la preparación del hormigón, obteniéndose cero de salinidad, por cuanto esta área había estado cubierta de nieve durante el invierno y en el verano antártico se iba descongelando, lavando el suelo.

Por el tipo de material encontrado en la Caleta Jambelí, para ser utilizado como agregados para la fabricación del hormigón (roca y arena azul), y considerando experiencias en construcciones anteriores, se asumió una relación de 1:3:5 (saco de cemento, arena y piedra) para el replantillo y 1:2:3 para fabricar el hormigón de los plintos y riostras, con 19 litros de agua y 1 litro de aditivo químico reductor de agua y acelerante de resistencias, SIKA Plastocrete 161 HE, con lo que se esperaba obtener un resistencia aproximada de 280 Kg./cm².

Para efectos de la dosificación del hormigón se fabricaron cajonetas de madera de 0,40 x 0,40 m. y altura 0,20 m. para cargar los agregados.

Luego de limpiar la nieve, se realizó el replanteo, la excavación de los plintos y la compactación del suelo, para posteriormente fundir el replantillo, Foto 10 (se asumió la dosificación: 1:3:5) con un encofrado de madera de 5 cm. de espesor, a fin de evitar el derrame y desperdicio del hormigón.



Foto 10. Fundición de Replantillo

Se fabricaron los separadores para recubrimiento del acero (galletas) con un mortero de 1:2, de 50mm de espesor, Foto 11, que soportarían la estructura del plinto, para controlar el espesor del recubrimiento en el momento del vaciado, pero pasaron dos días y los elementos no fraguaban. Ante este hecho, se procedió a verificar la causa, encontrando que en esos días la temperatura promedio estuvo entre -1 a -2 Grados Centígrados, estando el agua a punto de congelamiento, luego de la preparación del mortero.

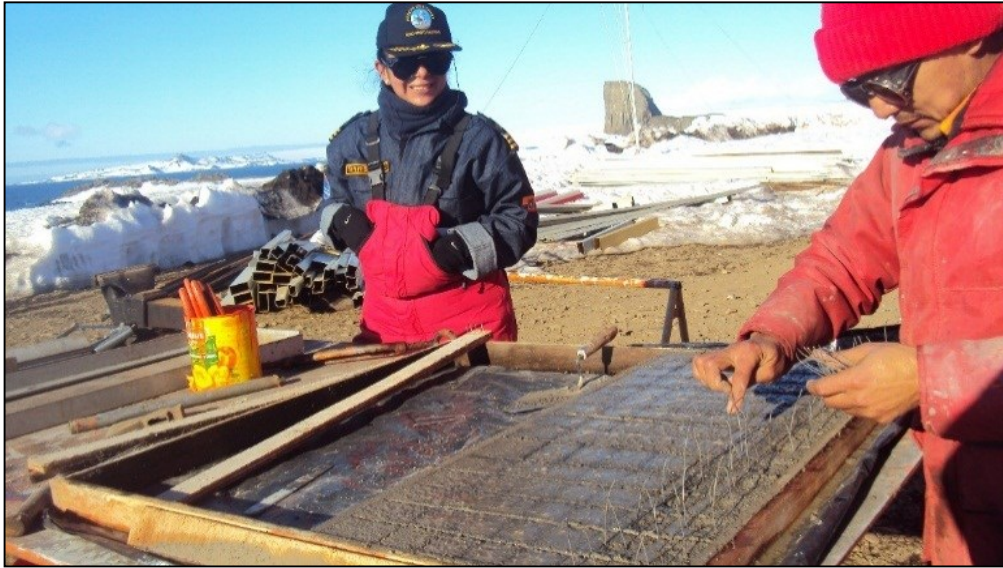


Foto 11. Elaboración de Separadores de 50mm. para Recubrimiento del acero

Se procedió a revisar las normas ACI-306 de fabricación de hormigones para climas fríos, (Tuthil, 1990) se observó que al estar el mortero en estado de congelamiento, no iniciaba el proceso de fraguado. Por lo tanto, se procedió a subir la temperatura del agua hirviéndola en ollas de la cocina, a fin de lograr la temperatura del concreto recomendada en la Tabla 4 mencionada anteriormente en el capítulo 2, para el tamaño de la sección de los plintos de <300 mm ($<12''$), mínimo de 13°C (55°F) y para secciones de 300 a 900 mm, la temperatura del hormigón deberá estar mínimo en 10°C (50°F), cuando la temperatura del aire este en 0°C , ya que al elaborar un elemento de 300 mm, la temperatura baja, le enfría más rápidamente.

3.2 METODO DE CONTROL DE TEMPERATURA DEL HORMIGÓN

Al existir variación del clima a diario, se establece una metodología de observación científica del control de las temperaturas, utilizando las termocuplas tipo K y el termómetro electrónico (utilizado para medir la transferencia calórica de los paneles de los módulos existentes en la Estación PEVIMA), para medir la temperatura del agua que se había calentado en la cocina, y de la temperatura cuando se mezclaron primero con el aditivo SIKA Plastocrete 161 HE que estaba a la intemperie Foto 12, y luego con los agregados Foto 13, llevando un registro diario de las actividades de fundición de la cimentación Foto 14 y de la obra, según Anexo “A” REPORTE DE ACTIVIDADES DIARIAS EN OBRA, lo cual facilitó la elaboración de este estudio.



Foto 12. Lectura Temperatura de Agua Caliente con Aditivo



Foto 13. Lectura de la Temperatura del Hormigón.



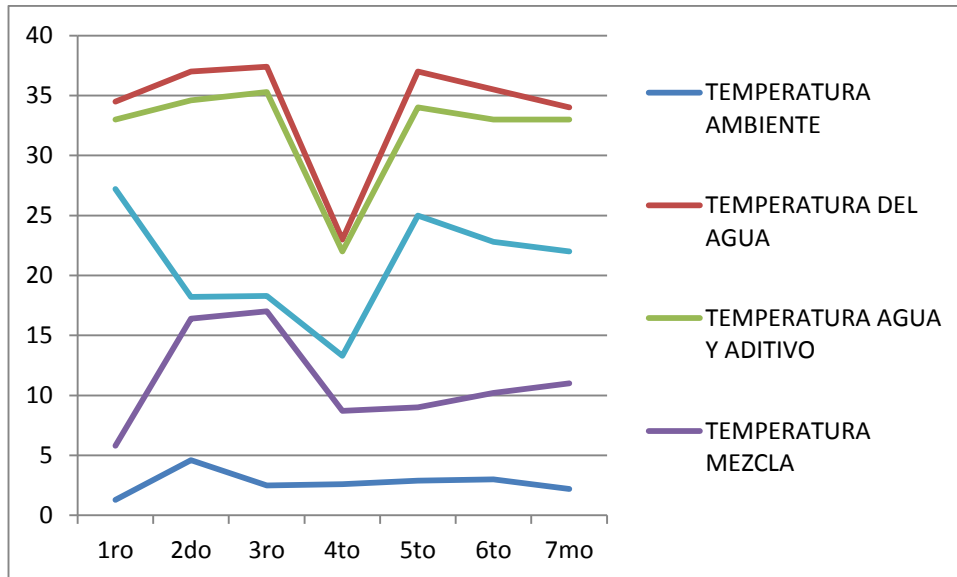
Foto 14. Fundición de Plintos

Las temperaturas del agua con las que se prepararon las mezclas de hormigón para la construcción de la cimentación del Módulo 4, luego de calentarse, estuvo entre 18°C a 48 °C cuando la temperatura ambiental estuvo entre 1 a 4 °C, existiendo una pérdida de temperatura del agua de promedio 20°C durante la mezcla con el aditivo primero y luego con los agregados, lo que se refleja en los datos de campo detallados en las Tablas Nos. 5-6-7-8-9-10.

Tabla 5. Análisis de temperatura durante el colado del hormigón con aditivo y calentando el agua (FECHA DE TOMA DE DATOS: 15-ENE-2010)

No SACO	TEMPERATURA AMBIENTE °C	TEMPERATURA AGUA °C	TEMPERATURA AGUA Y ADITIVO °C	TEMPERATURA MEZCLA °C	PERDIDA DE TEMPERATURA DE MEZCLA °C
1ro	1,30	34,50	33,00	5,80	27,20
2do	4,60	37,00	34,60	16,40	18,20
3ro	2,50	37,40	35,30	17,00	18,30
4to	2,60	23,00	22,00	8,70	13,30
5to	2,90	37,00	34,00	9,00	25,00
6to	3,00	35,50	33,00	10,20	22,80
7mo	2,20	34,00	33,00	11,00	22,00

Fuente Autoría propia



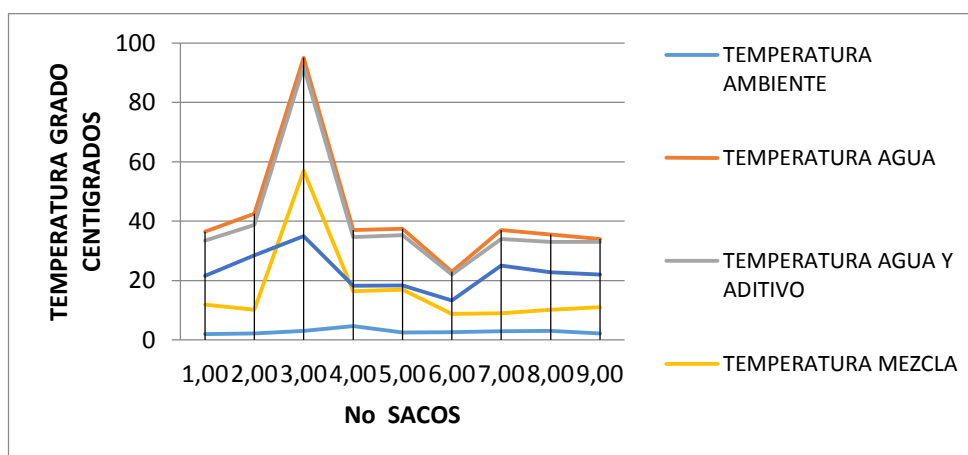
Fuente: Autoría propia

NOTA: La temperatura del agua varía, por el tiempo limitado que se tuvo para utilizar la cocina para hervir el agua. Al mezclar con los agregados, se obtuvieron temperaturas del hormigón entre 5,8 °C a 17°C. Se observa que cuando la temperatura ambiente es baja, hay mayor pérdida de temperatura del agua caliente, durante la preparación.

Tabla 6. Análisis de temperatura durante el colado del hormigón con aditivo y calentando el agua (FECHA DE TOMA DE DATOS: 16-ENE-2010)

No SACO	TEMPERATUR A AMBIENTE	TEMPERATUR A AGUA	TEMPERATUR A AGUA CON ADITIVO	TEMPERATUR A MEZCLA	PERDIDA DE TEMPERATUR A DE MEZCLA (*)
1ro	2	36,5	33,5	11,9	21,6
2do	2,2	42,5	38,7	10,2	28,5
3ro	3	95	92	57	35
4to	4,6	37	34,6	16,4	18,2
5to	2,5	37,4	35,3	17	18,3
6to	2,6	23	22	8,7	13,3
7mo	2,9	37	34	9	25
8vo	3	35,5	33	10,2	22,8
9no	2,2	34	33	11	22

Fuente: Autoría propia



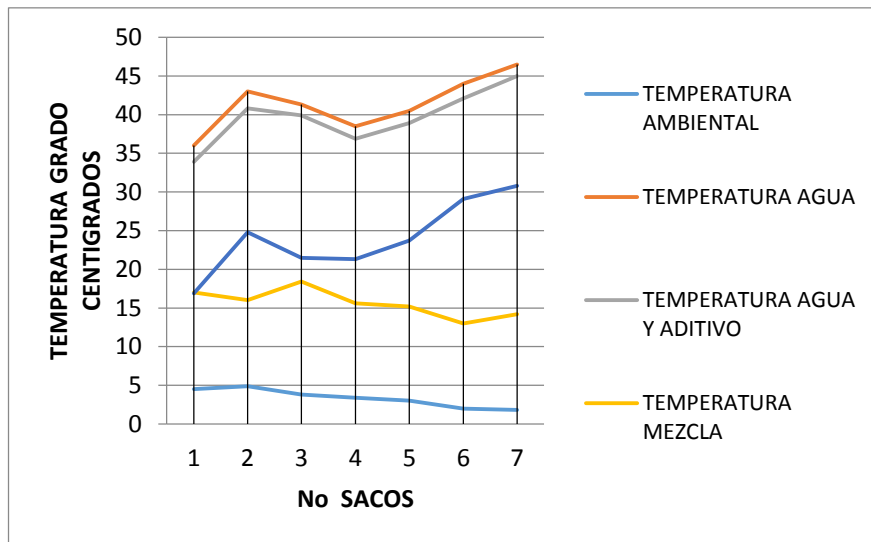
Fuente: Autoría propia

NOTA: En este día, la temperatura del agua calentada varió de 23 a 42°C, excepto la 3ra. preparación de una mezcla, que se logró hervir a 95°C de forma accidental, pero al mezclar con los agregados que estaban en la intemperie, la temperatura de la mezcla bajó 35°C, confirmándose lo indicado en el Capítulo 2, que “las altas temperaturas del hormigón no ofrecen mayor protección contra el congelamiento, ya que la pérdida de calor es mayor cuando las temperaturas del hormigón son mayores que las temperaturas ambientales, ya que tienden a enfriarse rápidamente cuando el clima es muy frío”.

Tabla 7. Análisis de temperatura durante el colado del hormigón con aditivo y calentando el agua (FECHA DE TOMA DE DATOS: 18-ENE-2010)

No. SACOS	TEMPERATURA AMBIENTAL °C	TEMPERATURA AGUA °C	TEMPERATURA AGUA Y ADITIVO °C	TEMPERATURA DE LA MEZCLA °C	PERDIDA DE TEMPERATURA DE LA MEZCLA °C
1ro	4,5	36	33,9	17	16,9
2do	4,9	43	40,8	16	24,8
3ro	3,8	41,3	39,9	18,4	21,5
4to	3,4	38,5	36,9	15,6	21,3
5to	3	40,5	38,9	15,2	23,7
6to	2	44	42,1	13	29,1
7mo	1,8	46,5	45	14,2	30,8

Fuente: Autoría propia



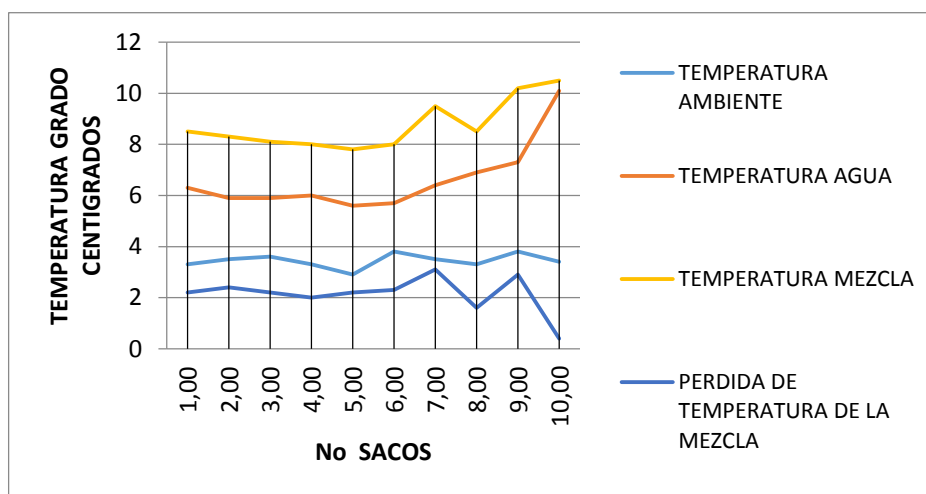
Fuente: Autoría propia

NOTA: En este día, la temperatura del agua se logró hervir de 36° a 46°C, pero al mezcla con los agregados, se obtuvo temperaturas del hormigón de 13° a 18,4°C, estando en el rango que reconoce el reporte ACI 306 R-88, detallado en la Figura 1 del capítulo 2.

Tabla 8. Análisis de temperatura durante el colado del hormigón sin aditivo y sin calentar el agua (FECHA DE TOMA DE DATOS: 19-ENE-2010)

No SACO	TEMPERATURA AMBIENTE °C	TEMPERATURA AGUA °C	TEMPERATURA MEZCLA °C	INCREMENTO DE TEMPERATURA DE MEZCLA °C
1ro	3,3	6,3	8,5	2,2
2do	3,5	5,9	8,3	2,4
3ro	3,6	5,9	8,1	2,2
4to	3,3	6	8	2
5to	2,9	5,6	7,8	2,2
6to	3,8	5,7	8	2,3
7mo	3,5	6,4	9,5	3,1
8vo	3,3	6,9	8,5	1,6
9no	3,8	7,3	10,2	2,9
10mo	3,4	10,1	10,5	0,4

Fuente: Autoría propia



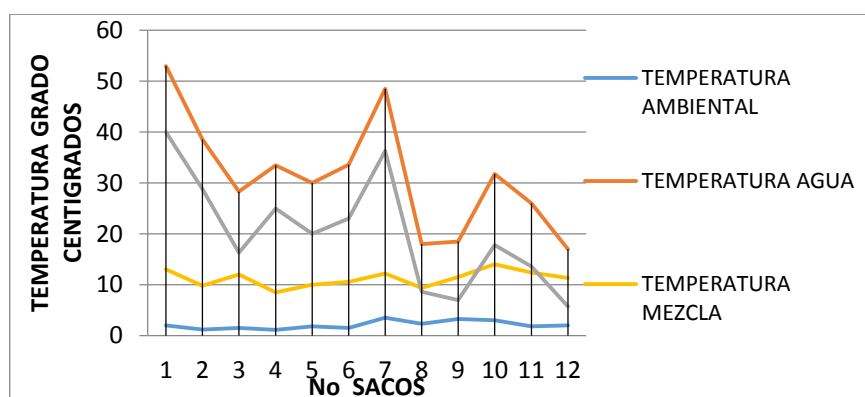
Fuente: Autoría propia

NOTA: El día 19-ENE-2010, la temperatura ambiente estuvo promedio 3,5°C, no se hirvió el agua porque no se tuvo disponibilidad de la cocina, ni se utilizó aditivo, sin embargo, la temperatura del agua era superior a la del ambiente, promedio 6°C, pero al mezclar con los agregados, se incrementó el hormigón a un promedio de 8,74°C, superior al mínimo de 5°C para desarrollar resistencia finales más altas, si se protege del congelamiento los primeros días, según el reporte del ACI 306

Tabla 9. Análisis de temperatura durante el colado del hormigón sin aditivo y calentando el agua (FECHA DE TOMA DE DATOS: 23-ENE-2010)

No. SACOS	TEMPERATURA AMBIENTAL °C	TEMPERATURA AGUA °C	TEMPERATURA DE LA MEZCLA °C	INCREMENTO DE TEMPERATURA DE MEZCLA (*)
1ro	2	53	13	40
2do	1,2	38,6	9,8	28,8
3ro	1,5	28,3	12	16,3
4to	1,1	33,5	8,5	25
5to	1,8	30	10	20
6to	1,5	33,6	10,6	23
7mo	3,5	48,5	12,2	36,3
8vo	2,3	18	9,4	8,6
9no	3,3	18,5	11,5	7
10mo	3	31,8	14	17,8
11vo	1,8	26	12,4	13,6
12vo	2	17	11,3	5,7

Fuente: Autoría propia



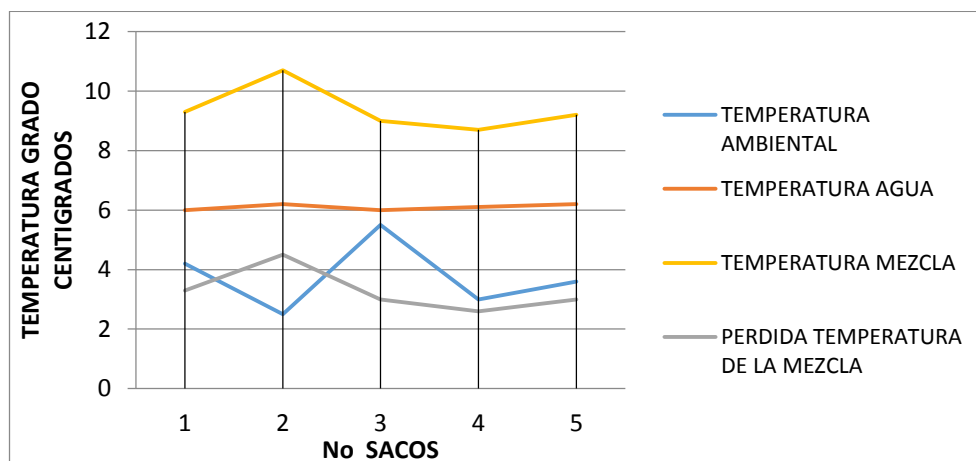
Fuente: Autoría propia

NOTA: El día 23-ENE-2010 se logra preparar la mayor cantidad de hormigón con 12 sacos, estando la temperatura ambiente promedio 2°C. A pesar de que se logró calentar el agua hasta 53°C, la temperatura del hormigón descendió a 11,2°C promedio, observándose pérdidas de temperatura de hasta 40°C en la primera preparación, presumiendo por causa de los agregados que al permanecer a la intemperie, soportando las bajas temperaturas de la noche, se encontraban muy fríos. Sin embargo, las preparaciones del hormigón alcanzaron un promedio de 11,2°C, favorable para alcanzar resistencias altas finales, según se indica en la Figura 1 del capítulo 2.

Tabla 10. Análisis de temperatura durante el colado del hormigón sin aditivo y sin calentar el agua (FECHA DE TOMA DE DATOS: 24-ENE-2010)

No. SACOS	TEMPERATURA AMBIENTAL °C	TEMPERATURA AGUA °C	TEMPERATURA DE LA MEZCLA °C	INCREMENTO DE TEMPERATURA DE MEZCLA °C
1ro	4,2	6	9,3	3,3
2do	2,5	6,2	10,7	4,5
3ro	5,5	6	9	3
4to	3	6,1	8,7	2,6
5to	3,6	6,2	9,2	3

Fuente: Autoría propia



Fuente: Autoría propia

NOTA: El día 24-ENE-2010 por dificultades logísticas, no se logra calentar el agua, sin embargo, con temperaturas ambiente promedio de 3,76°C, en la plenitud del verano antártico, el agua se encontraba a 6°C promedio, y una vez preparada la mezcla con los agregados, el hormigón llegó a 9,38°C promedio, observándose un incremento de temperatura del hormigón de 3,28°C, por el calor de hidratación que se desprende al estar en contacto el cemento con el agua y los agregados.

Conforme a estas tablas se obtuvieron hormigones con temperaturas desde 5°C a 18°C, como lo establece el reporte del ACI 306 R-88 sobre “Vaciado de hormigón a Bajas Temperaturas” y la Figura 1 del Capítulo anterior, en la que

indica el vaciado del hormigón entre 5°C y 13°C, protegiéndolo del congelamiento y el curado por largo tiempo, que permite desarrollar “resistencias finales más altas y de mayor durabilidad”, lo que posteriormente se comprobará con los resultados de las pruebas de compresión simple realizadas a las muestras de cilindros de hormigón tomadas durante la fundición.

Así también se observa que los días 19 y 24 de enero de 2010, en que se preparó la mezcla con agua sin calentar (Tablas 8 y 10), estando la temperatura ambiente, promedio 3°C, al realizar la mezcla, la temperatura se incrementó 3°C promedio, debido al proceso químico del hormigón durante el fraguado, por el calor de hidratación desprendido por el contacto entre el cemento con el agua y los agregados.

De los registros realizados durante la preparación del hormigón se desprende, que el haber calentado el agua, permitió evitar que el hormigón se congele durante el proceso de fraguado y pierda su resistencia según lo indica la Figura 2, “Efecto del hormigón congelado en la resistencia a la compresión”, especialmente los días que la temperatura estuvo entre 1° a 3°C, facilitando lograr resistencias finales más altas.

3.3 CONDICIONES DE TRABAJO DEL PERSONAL

Al no existir una máquina concretora, la preparación del hormigón se realizó manualmente, lo que dificultaba la trabajabilidad, por la ropa gruesa que se debe usar para soportar el frío durante todo el día y las botas pesadas que dificultaban el caminar a los trabajadores (conformado por personal militar hidrógrafos, motoristas, soldados y carpinteros, quienes realizaron también trabajos de mantenimiento en las edificaciones existentes), además del uso indispensable de guantes, pasamontaña y gafas de nieve (para proteger la cara y los ojos del reflejo de los rayos ultravioleta en la nieve). Todos estos factores disminuyeron el rendimiento del personal, por lo que solo se podía preparar un saco a la vez y hubo que transportar la mezcla en carretilla, debiendo permitirse largos tiempos de recuperación al personal, a pesar de que sus condiciones físicas eran extraordinarias y la mayoría ya había viajado en otras expediciones.

El régimen diario incluía mantener al personal hidratado con bebidas calientes por la mañana y por la tarde, según Foto 15.



Foto 15. Hidratación al personal de la construcción.

Como fue necesario usar la única cocina de la Estación PEVIMA para calentar el agua, se dificultó seriamente la preparación del hormigón, ya que al ser una actividad no programada, interfería con la preparación de los alimentos y del régimen diario que se cumple para servirse los alimentos de todo el personal administrativo, operativo, de investigadores y del personal de la construcción. Además, el traslado del recipiente de agua caliente desde el interior de la Estación hasta el sitio de la obra demoraba la construcción y se corría el riesgo de provocar quemaduras al personal. Por todo esto, será necesario para futuras construcciones, considerar la implementación de una hornilla industrial para calentar el agua junto a la obra.

Así también, la velocidad del viento impedía preparar las mezclas del cemento en algunos casos, provocando bajas temperaturas de sensación térmica y cuando la ventisca venía acompañada de escarcha de nieve, no era posible trabajar, a pesar de que por el verano antártico se podía disfrutar de 20 horas de luz en el día.

Para proteger el elemento fundido, se utilizó las fundas de cemento y plástico que ayudó a proteger de la caída de escarcha y de la ventisca en los primeros días, además del uso de aditivo SIKA Plastocrete 161 HE, con lo que se esperaba obtener un tiempo de fraguado más rápido, de acuerdo a la norma ASTM C-494M, según se grafica en la Figura 3. En fotos 16, 17 y 18 se observan etapas del proceso constructivo.



Foto 16. Preparación Manual del Hormigón



Foto 17. Fundición de Riostras del Módulo 4. CPNV-CSM Patricia Torres y SUBS-HI Molina.



Foto 18. Estado de la Estructura metálica del Módulo 4 el 12-FEB-2010, junto al personal militar y civil que intervino en la construcción.

ANEXO A

REPORTE DE ACTIVIDADES DIARIAS EN OBRA

ARMADA DEL ECUADOR							
ESTACION ECUATORIANA PEDRO VICENTE MALDONADO							
ISLA GREENWICH							
REPORTE DE ACTIVIDADES DEL 11 AL 17 DE ENERO DEL 2010							
PROYECTO:	ESTUDIO DE LA EFICIENCIA SOBRE TRANSFERENCIA CALORICA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE LABORATORIOS EN LA ESTACIÓN ECUATORIANA "PEDRO VICENTE MALDONADO" EN LA ANTÁRTIDA.						
UBICACIÓN:	ESTACION ECUATORIANA PEDRO VICENTE MALDONADO - ISLA GREENWICH						
CONTRATAN:	FUNDEMAR						
CONTRATISTA:	INSTITUTO ANTÁRTICO ECUATORIANO						
FECHA:	LUNES, 18 DE ENERO DEL 2010						
A.- PERSONAL							
JEFE DE EXPEDICION: CPFGE-EM JUAN CARLOS PROAÑO Y CPFGE-EM RAMON GAVILANES							
DIRECCION TECNICA: CPFGE-CSM PATRICIA TORRES							
MEDICO: CPCB-MD. JOHNY JEREZ							
OFICIAL DE OPERACIONES: TNNV-UN RICARDO RENDON							
INVESTIGADOR: PABLO VASCONEZ							
NUTRICIONISTA: JUAN JOSÉ MORAN							
AYUDANTE: SER. PUB. MARIO PIEDRA							
OPERADOR DE MAQUINA: SGSO-MT TORRES JHONNY Y SER. PB. LUIS BURBANO.							
TOPOGRAFO: SER. PUB. LUIS BURBANO							
ENCOFRADOS: SER.PUB. RODOLFO VERA, SER.PUB. ANDRADE.							
FIERRERO: SGOP-MT JOHNNY TORRES							
FUNDICION DE REPLANTILLOS Y PLINTOS: SGOS-HI JOE PACHECO,CBOP-EL MARTINEZ, S.P. MARIO PIEDRA,S.P. RODOLFO VERA, S.P. OSCAR PILOSO.							
B.- EQUIPO							
01 MINICARGADOR 70XT MARCA CASE DE TURBO DIESEL MOTOR JOHN DEERE							
EQUIPO DE NIVEL TOPOGRÁFICO TEODOLITO WILD T16.							
HERRAMIENTAS MENORES							
ESCLEROMETRO, PARA MEDIR RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.							
AGUJA DE VICAT							
C.- CONDICIONES CLIMATICAS							
A GRADOS CENTIGRADOS	TERMICA GRADOS	VIENTO (NUDOS)	PRECIPITACION	OBSERVACIONES			
MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX		
-0,11	6,90	-13,21	3,39	2,40	25,81	0,51	2 DIAS SEGUIDOS NEVANDO Y NUBLADOS LOS OTROS DÍAS

CAPITULO 4

TOMA DE MUESTRAS Y ANALISIS DE LABORATORIO

4.1 INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior se expusieron las condiciones en que se trabajó para la edificación del llamado Módulo 4 de la estación Pedro Vicente Maldonado. En especial se trató sobre la preparación y colocación del hormigón en la obra, pero se tomaron además las medidas apropiadas para obtener muestras y analizarlas en laboratorio con el fin de comprobar la calidad del hormigón que se preparó con agregados de un sitio tan remoto y de clima tan severo como es la Antártida.

En este capítulo se tratará de describir los procedimientos utilizados para la toma de muestras y para el estudio de los materiales, tareas que se acometieron una vez más bajo condiciones muy difíciles.

4.2 ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA

Para la preparación del hormigón se necesitaba obtener piedra y arena de lugares más cercanos a la construcción. Para ello se tomaron 2 muestras de arena y una de piedra en dos puntos en diferentes ubicaciones fuera de la Estación PEVIMA, en Caleta Jambelí (Foto 19), ubicada en la Punta Fort Williams y en Punta Ambato, tal como se indicó en el capítulo anterior.



Foto 19. Transporte de Agregado de Caleta Jambelí.

Las muestras tomadas en los mencionados sitios de la Antártida, fueron transportadas al Ecuador donde se realizaron una serie de ensayos para confirmación de la calidad de los materiales, detallados en el “Estudio de los Materiales utilizados para la construcción de los Módulos en la Estación Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado en la Antártida, bajo la responsabilidad del Ing. Pablo Vásconez delegado de la UCSG, en el Laboratorio de Suelos del Ing. Augusto Barriga. En las fotos 20 a 23 se observan algunos detalles de los ensayos practicados en los agregados. (Vasconez, 2010)



Foto 20. Áridos Finos



Foto 21. Ensayo Absorción y Gravedad



Foto 22. Áridos Gruesos



Foto 23. Tamizado árido grueso

Los ensayos que se realizaron en las muestras de arena y piedra fueron:

- Granulometría: ASTM C136
- Absorción: ASTM C127 y C128
- Masa Unitaria Suelta y Varillada: ASTM C29

- Salinidad

Al haberse despejado la nieve, permitió el acceso con la máquina hasta Caleta Jambelí, en la Punta Fort Williams, aproximadamente a 600m. de la Estación PEVIMA, por lo que este sitio fue la fuente de obtención de los materiales (piedra y arena) para ensayos en laboratorios, materiales usados en la fabricación del hormigón de la cimentación del Módulo 4. Los resultados de estos ensayos se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultado de ensayos de laboratorio de agregados

Muestra	Módulo de Finura	Absorción	Gravedad Específica
Arena Caleta Jambelí	3.58	3.5%	2.58
Piedra Caleta Jambelí	6.53	2.3%	2.66
Arena Punta Ambato	2.36	2.0%	2.88

Fuente: Estudio de Materiales utilizados en la Estación Pedro Vicente Maldonado. Vasconez P.

En la Tabla 12 se muestran los resultados de los ensayos del agregado fino. Se determinó que el porcentaje obtenido de pasante del agregado fino es del 3,58%, por lo que nos encontramos en presencia de un suelo no plástico (NP) según norma ASTM C33.

Tabla 12. Resultado de ensayos de laboratorio de agregados CALETA JAMBELI

Granulometría: Porcentaje Pasante Acumulados de los Tamices												Ensayos de Agregados					Observaciones
1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200	Módulo de Finura	Absorción	Gravedad Específica	Densidad Suelta (T/m ³)	Densidad Varillada (T/m ³)	
			100	97,48	95,65	83,96	51,95	12,07	0,68	0,16	0,03	3,67	0,035	2,58			Muestra de Arena Caleta Jambelí
100	93,05	85,71	58,17	17,73	3,56							6,53	0,023	2,66			Muestra de Piedra Caleta Jambelí
	100	96,58	93,83	92,4	91,28	88,39	83,03	70,46	36,47	1,37	0,25	2,36	0,02	2,88	1,74	1,91	Muestra de Arena Punta Ambato

Fuente: Laboratorio de Suelos Ing. Augusto Barriga.

En la Figura 13, se encuentra graficado el rango de distribuciones granulométricas que debe tener un árido fino para una mezcla de hormigón, según la norma ASTM C33. Los límites que corresponden a este rango son las curvas llamadas mínimas y máximas. La arena de Caleta Jambelí, utilizada en la construcción, se encuentra en parte dentro del rango recomendado, (desde el tamiz 1/2" al tamiz No.100), con un módulo de finura de 3,58, mientras que la arena de Punta Ambato es muy fina 2,36 (desde el tamiz 1" al tamiz No.100).

Figura 13. Granulometrías de Áridos Finos

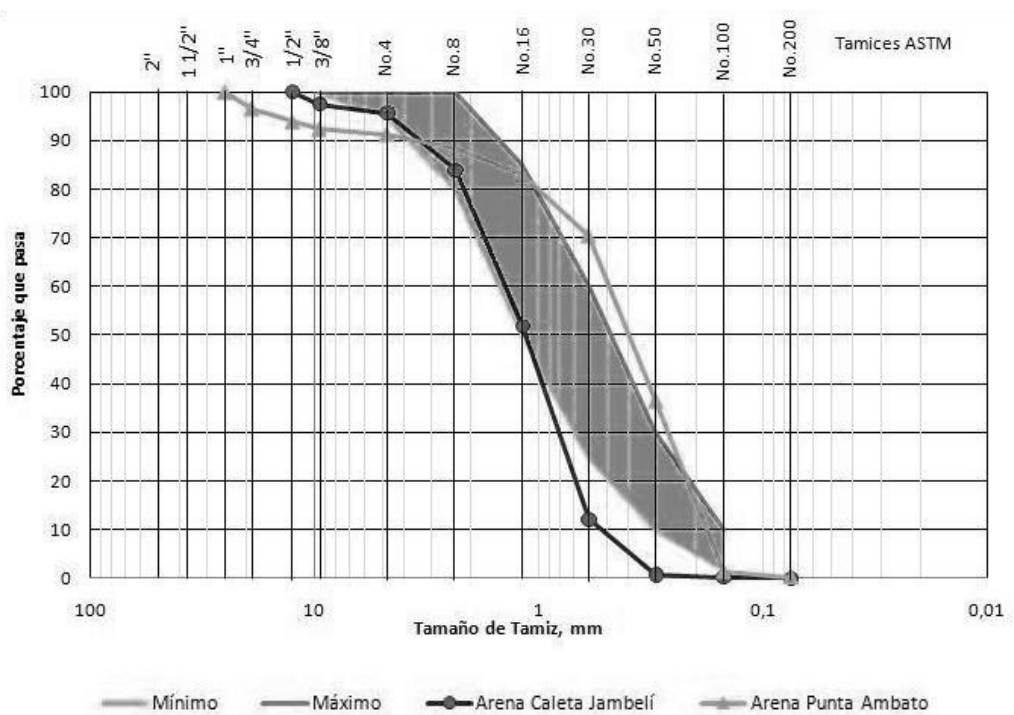
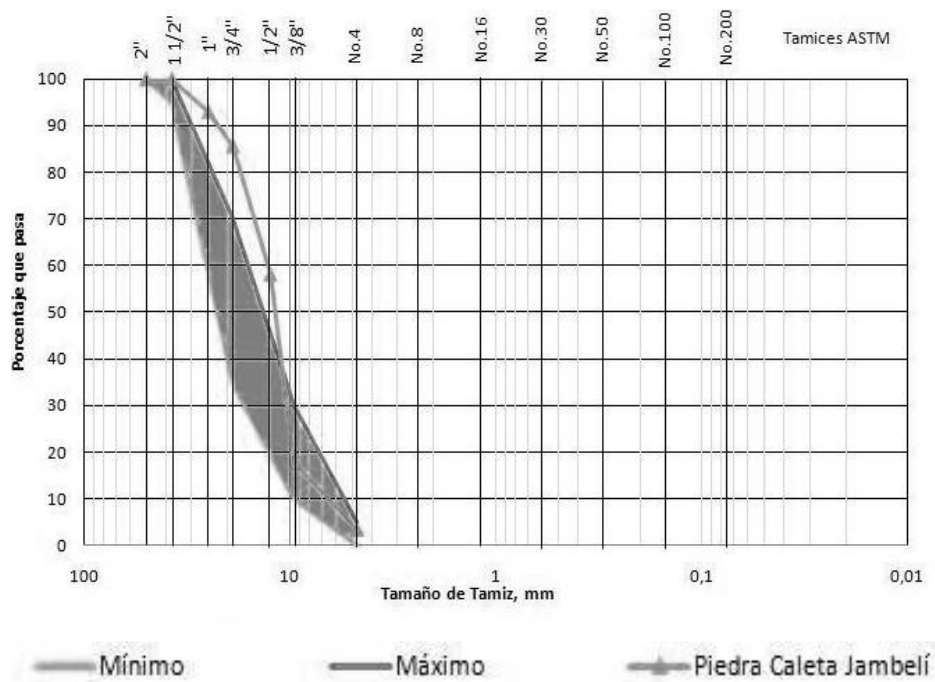


Figura 14. Granulometrías de Áridos Gruesos



4.3 ENSAYO DE SALINIDAD

A fin de evitar agresividad al hormigón a diseñar, por la presencia de cloruro de sodio existente en los agregados (arena y piedra) que se encuentran próximos a la playa, se realizó el análisis del grado de salinidad al material existente.

En el laboratorio de la Estación con el Serv. Pub. Dr. Luis BURBOS del INOCAR se realizaron las pruebas a las muestras, obteniéndose cero de salinidad, lo cual es un requisito básico para obtener un agregado óptimo para la mezcla a diseñar. Se estima que los deshielos producidos cada verano antártico, han contribuido a lavar la arena y la piedra que fue utilizada para la construcción.



Fuente: Autoría propia

Foto 24. Prueba de Salinidad a los Agregados.

La afectación que puede producir la salinidad en el hormigón:

- Disminuye el PH (Se hace ácido)
- Pérdida de la masa
- Incremento de la porosidad y la permeabilidad del hormigón
- Caída de la resistencia mecánica.

El agua utilizada para la preparación del hormigón del Módulo 4 era producto del deshielo, captada en tuberías hasta la Estación, según Foto 25, almacenada en cuatro tanques de 1.200 litros, Foto 26 y tratada con cloro granular para uso de consumo doméstico para la Estación PEVIMA, por lo que se puede confirmar que se utilizó agua muy limpia y pura, las cuales se reconocen como aquellas que tienen poca o ninguna sustancia disuelta, que es el caso de, por ejemplo: deshielos de glaciares, fusión de nieve, agua de lluvia, agua de determinados pantanos, aguas a grandes profundidades.



Foto 25. Captación de agua **Foto 26.** Almacenamiento de agua de deshielo 120

Las características y acción de estas aguas puras son las siguientes:

- Bajo contenido de Ca^{2+} (Carbonato) + ó MgO (Oxido de magnesio)
- PH neutro próximo a 7 (ni ácidas ni básicas)
- Actúa como disolvente e inicia la hidrólisis (por percolación o saturación)
- Inicia la disolución de los compuestos que contienen Ca
- Los aluminatos de calcio hidratados generan como productos finales gel de alúmina e hidróxido de calcio (CH).
- La desaparición del CH facilita el avance de la reacción disolvente -
Expone a los demás componentes a la descomposición química.

Ahora bien, se advierte que el agua de los deshielos, denominadas aguas puras, no es recomendable para el uso de hormigones. Sin embargo el agua

utilizada en las construcciones de la Antártida fue la almacenada y tratada para uso doméstico, y que fue calentada, por lo que se obtuvo resistencia mayores de 280Kg/cm², como se demostrará en las pruebas de compresión simple, realizadas a las muestras tomadas durante la fundición de los plintos.

4.4 ESTUDIO DE HORMIGÓN EXISTENTE

4.4.1 INTRODUCCIÓN

En este viaje efectuado el 2010 se pudo mejorar las condiciones de elaboración del hormigón para la construcción del Módulo 4 pese a las dificultades para obtener materiales apropiados dadas las extremas condiciones de la zona. Sin embargo, los resultados fueron relativamente satisfactorios considerando que se trataba de estructuras que no están sometidas a cargas muy severas.

Las conclusiones técnicas de estas experiencias condujeron a plantearse inquietudes respecto de la calidad de los hormigones que se habían empleado en años anteriores y confirmar el estado en que se encontraban estas estructuras.

4.4.2 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

El análisis del hormigón de las cimentaciones de los módulos construidos en años anteriores, fueron evaluados mediante el uso de ensayos no destructivos, utilizando el esclerómetro.



Foto 27. Pruebas no destructivas con Esclerómetro a los Módulos 1, 2 y 3.

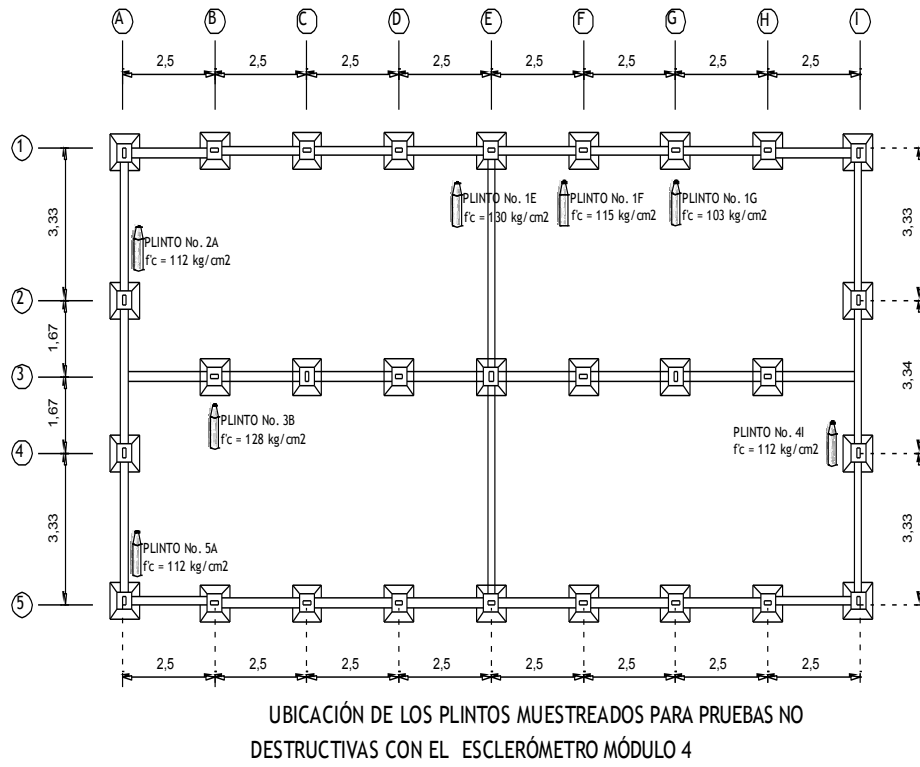
Tabla 13. Resistencias de los elementos de hormigón obtenidas con esclerómetro.

Tipo de Módulo	Edad (años)	f'c promedio (kg/cm ²)
MODULO 1	20	150
Túnel	12	124
MODULO 2	12	90
Contrapiso	1	210
MODULO 3 Sección 1	1	79
MODULO 3 Sección 2	1	69
MODULO 4	10 días	116

Fuente: Estudio de Materiales utilizados en la Estación Pedro Vicente Maldonado. (Vasconez P.)

En promedio, las resistencias a la compresión simple medida a la cimentación de los Módulos 1-2-3-4, descritas en la Tabla 13, son en todos los casos inferiores a 210 kg/cm² (valor mínimo usado para las cimentaciones desde hace algunos años en el país). La baja resistencia del hormigón observado posiblemente se deba a una alta relación agua cemento y una baja de temperatura durante la hora de fundición y fraguado del hormigón sin tomar precauciones en los Módulos 1-2-3. Mientras que en el módulo 4 se observa una alta resistencia a los 10 días, por lo que se estimaba que podía llegar a tener alta resistencia. Se efectuaron también pruebas no destructivas en el Módulo 4.

Figura 15. Ubicación Pruebas no Destructivas Modulo 4. Laboratorio



Fuente: Autoría propia



Foto 28. Toma de Resistencia a la Compresión

Tabla 14. Resultados obtenidos: pruebas esclerómetro Módulo 4

ELEMENTO	EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f_c (kg/cm ²)
Plinto No. 1G	10 días	103
Plinto No. 1E	9 días	130
Plinto No. 2A	7 días	112
Plinto No. 4I	7 días	112
Plinto No. 1F	14 días	115
Plinto No. 5A	13 días	112
Plinto No. 3B	11 días	128

Fuente: Estudio de Materiales utilizados en la Estación Pedro Vicente Maldonado. (Vasconez P.)

4.4.3. TOMA DE MUESTRAS DE CILINDRO EN MÓDULO 4

Durante el proceso de fundición de la cimentación del Módulo No. 4 de Laboratorios, fueron tomadas 18 muestras de hormigón en cilindros de 10x20cm. los días 15, 16 y 18 de enero de 2010 según Tabla 15 y localizadas según Figura 16.

Estas muestras fueron desmoldadas a las 48 horas y puestas a curar en cubetas llena de agua colocadas al interior del Módulo No.3, para luego ser transportadas al continente para realizar las pruebas de rotura a la compresión en la UCSG en el laboratorio Estructuras (CEINVES). Estas pruebas nos permitieron conocer las resistencias alcanzadas de hasta 417 Kg/CM², por el hormigón de los plintos del Módulo No.4. Fotos 29 a 32 muestran detalles de estas pruebas.

Figura 16. Ubicación toma de muestra de cilindros de hormigón

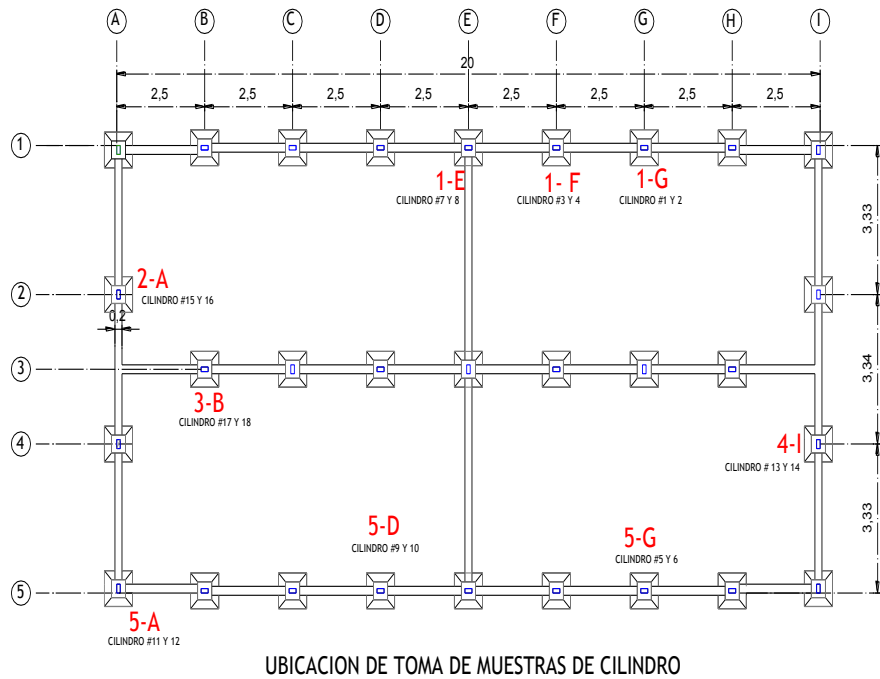


Tabla 15. Fechas de toma de muestras de cilindro al MODULO 4

MUESTRA NO.	FECHA DE TOMA CILINDRO	NOMBRE DE PLINTO
1	15-ene-10	1G
2	15-ene-10	1G
3	15-ene-10	1F
4	15-ene-10	1F
5	15-ene-10	5G
6	15-ene-10	5G
7	16-ene-10	1E
8	16-ene-10	1E
9	16-ene-10	5D
10	16-ene-10	5D
11	16-ene-10	5A
12	16-ene-10	5A
13	18-ene-10	4I
14	18-ene-10	4I
15	18-ene-10	2A
16	18-ene-10	2A
17	18-ene-10	3B
18	18-ene-10	3B

Fuente: Autoría propia



Foto 29. Toma de Muestras de Hormigón



Foto 30. Desmoldado

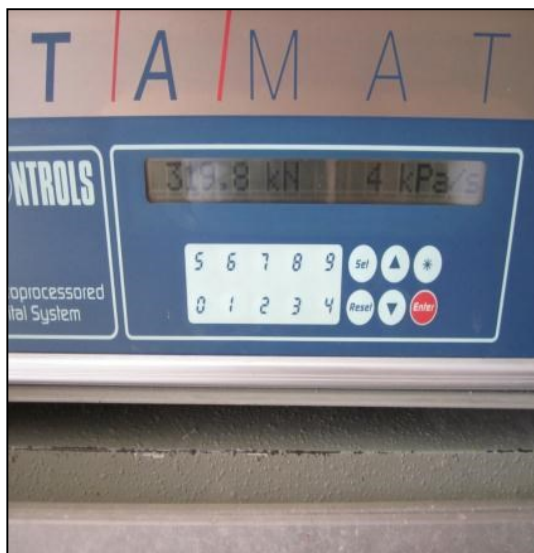


Foto 31. Ensayo de Compresión Simple.



Foto 32. Rotura de Cilindro

Tabla 16. Resultado de ensayos a la compresión simple Módulo 4

Muestra	Plinto	Edad (días)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
1-6	1G, 1F, 5G	287	417
7-12	1E, 5D, 5A	286	323
13-18	4I, 2A, 3B	284	334

Fuente: Estudio de Materiales utilizados en la Estación Pedro Vicente Maldonado. Vasconez P.

Las pruebas de compresión simple, que se muestran en Tabla 16, fueron realizadas a los 284, 286 y 287 días, porque los cilindros de hormigón permanecieron en contenedores como se observa en la Foto 33, en las bodegas de Ecuador de Punta Arenas, por dificultades logísticas para traerlas al país.



Foto 33. Transporte de Muestras de Cilindro.

Los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión, entre 313Kg/cm² a 417 Kg/cm² permitieron verificar que la calidad de los agregados había resultado adecuada para el parámetro de la compresión simple y además eran la consecuencia positiva de haber mantenido un control de la temperatura del hormigón durante el fraguado, entre 8° a 18°C y de un buen curado del hormigón los primeros días de fundición.

CAPITULO 5

DISEÑO DE HORMIGON CON MATERIALES DEL SITIO

5.1 INTRODUCCION

En el capítulo anterior se analizaron los procedimientos de toma de muestras y los resultados de las características del hormigón que se obtuvo del uso de los agregados nativos de la Antártida así como de las acciones que hubo que improvisar para la preparación de las mezclas. Si bien los resultados, al menos en cuanto a resistencia a la compresión simple, fueron satisfactorios en general, se llegó a la conclusión que la dosis de componentes del hormigón que se empleó se basó en las mezclas típicas que la práctica de la ingeniería aconseja para agregados de nuestro medio. Mediante el presente trabajo se pretende obtener el diseño de hormigones de buena calidad para futuras construcciones utilizando precisamente los materiales del lugar, con el conocimiento previo de que se trabajará expuestos a diversos agentes externos (heladas, congelación), en la Estación Científica Antártica Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado”.

5.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

De las muestras de agregados finos y gruesos obtenidas durante la XIV expedición a la Antártida, y trasladadas al continente, como parte del “Estudio de los materiales utilizados para la construcción de los módulos en la Estación Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado” en la Antártica, realizado por el Ing. Pablo Vásquez, cuyos ensayos fueron ejecutados en el Laboratorio de Suelos del Ing. Augusto Barriga, se obtuvieron los siguientes resultados detallados en la Tabla 11 y 12, del Capítulo anterior.

Para establecer el diseño, se considerarán los resultados de las muestras de Caleta Jambelí, Tabla 12, fuente del material utilizado en la construcción del Módulo 4 de Laboratorio y que permitió obtener resistencias de 417 Kg/cm², según las pruebas de compresión simple realizada en el Laboratorio de Estructuras (CEINVES) de la UCSG.

En este diseño se busca la obtención de un hormigón de resistencia a la compresión simple $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$, con un asentamiento de 100 mm en el cono de Abrams, para lo cual se empleará cemento Portland ordinario (tipo I).

Del ensayo granulométrico realizado en el Laboratorio de Suelos del Ing. Augusto Barriga de la Tabla 13, se obtuvo la siguiente información: El tamaño máximo del agregado grueso (piedra) de la Estación Científica en la Antártida obtenido de la CALETA JAMBELI es de 25 mm, la densidad varillada (incluidos los espacios vacíos) es 1500 kg/m^3 y la gravedad específica es 2.66 gr/cm^3 .

El agregado fino (arena) obtenido también de la CALETA JAMBELI, tiene un módulo de finura de 3,58 y una gravedad específica de 2.58 gr/cm^3 . El módulo de finura se calcula de la suma de porcentajes totales retenidos en cada tamiz desde 3/8" hasta el No. 100, dividido para 100.

5.3 RELACIÓN AGUA/CEMENTO

La obtención del coeficiente de relación agua/cemento A/C, se lo realizó de la Tabla 17, Requisitos para Mezclas de Hormigón. NEC-SE-HM., en la que se detalla la clase de exposición y la relación A/C máxima a utilizar para el diseño (NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2014).

Tabla 17. Requisitos para el hormigón según la clase de exposición

CLASE DE EXPOSICION	RELACION A/C MAX.	F'C MIN MPA
F0 (Hormigón no expuesto a ciclos de congelación y deshielo)	N/A	17
F1 (Hormigón expuesto a ciclos de congelación, deshielo y exposición ocasional a la humedad)	0,45	31
F2 (Hormigón expuesto a ciclos de congelación, deshielo y en contacto continuo con la humedad)	0,45	31

F3 (Hormigón expuesto a ciclos de congelación, deshielo y en contacto continuo con la humedad y expuestos a productos químicos para descongelar)	0,45	31
--	------	----

Fuente: NEC-SE-MP- Estructuras de Hormigón Armado. Requisitos para el hormigón según la clase de exposición

Se obtuvo la relación agua/cemento, según la clase de exposición F2 definida en las Normas NEC-SE-PM, cuya relación es de 0,45.

Contenido de aire en porcentaje:

Se lo determinó de la Tabla 3. “Contenido total de aire para hormigones expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo” del Capítulo 2. NEC-SE-MP- Estructuras de Hormigón Armado (NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2014).

El parámetro a utilizar será el F2 (Hormigón expuesto a ciclos de congelación, deshielo y en contacto continuo con la humedad) y tomando un tamaño máximo del agregado de 25mm, se obtuvo que el contenido de aire a usar es de **6%**.

Aunque la norma NEC-SE-MP, 3.2.4 “Requisitos adicionales para exposición a congelación y deshielo”, indica que la tolerancia en el contenido de aire incorporado, será de +- 1.5%. Para resistencia a la compresión mayor a 35 MPa, puede reducirse a 1% el aire incorporado.

5.4 CONTENIDOS DE CEMENTO Y CÁLCULO DE AGREGADOS

A continuación se muestra el procedimiento de diseño de los componentes del hormigón para los materiales dados. Para ello se contó con los datos obtenidos en el Laboratorio de Suelos del Ing. Augusto Barriga, en donde se analizaron los

ensayos de las muestras de piedra y arena traídas de la Antártida, con los que se obtuvieron los parámetros requeridos para el diseño.

Contenido de cemento:

Se calcula tomando el valor del asentamiento aproximado de 100 mm obtenido en obra y del tamaño máximo del agregado utilizado 25mm (1”):

Primero se calculó el valor del peso del agua que fue obtenido de la Tabla 18, para determinar la cantidad de agua en la mezcla, con los valores de asentamiento (100mm) y tamaño máximo del agregado (25mm). Dando como resultado el valor de **195Kg**.

Tabla 18. Cantidad de agua en mezclas

<i>Cantidad aproximada de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de los agregados</i>								
<i>Asentamiento</i>	<i>Cantidad de agua</i>							
	<i>(Kg/m³ de concreto para agregados de tamaño máximo)</i>							
<i>(mm)</i>	<i>10 mm</i>	<i>12.5 mm</i>	<i>20 mm</i>	<i>25 mm</i>	<i>40 mm</i>	<i>50 mm</i>	<i>70 mm</i>	<i>150 mm</i>
<i>30 a 50</i>	<i>205</i>	<i>200</i>	<i>185</i>	<i>180</i>	<i>160</i>	<i>155</i>	<i>145</i>	<i>125</i>
<i>80 a 100</i>	<i>225</i>	<i>215</i>	<i>200</i>	<i>195</i>	<i>175</i>	<i>170</i>	<i>160</i>	<i>140</i>
<i>150 a 180</i>	<i>240</i>	<i>230</i>	<i>210</i>	<i>205</i>	<i>185</i>	<i>180</i>	<i>170</i>	<i>¾</i>
<i>Contenido de aire atrapado (porcentaje)</i>	<i>3.0</i>	<i>2.5</i>	<i>2.0</i>	<i>1.5</i>	<i>1.0</i>	<i>0.5</i>	<i>0.3</i>	<i>0.2</i>

Fuente: Libro Propiedades del Concreto de A. M. Neville.

$$\text{Peso de cemento} = \text{peso de agua} / A/C = 195 \text{ Kg} / 0,45 = 433,33 \text{ Kg}$$

Cálculo del Agregado Fino:

De las muestras traídas de la CALETA JAMBELI, se realizó el ensayo granulométrico según Tabla 19 y se determinó el Peso Volumétrico Seco PVS = 1,350 KG/CM2, el Módulo de Finura MF = 3.58 y la Densidad Superficialmente Seca DSSS = 2,58.

A continuación se define los conceptos de Peso volumétrico seco y Densidad superficialmente seca.

Peso Volumétrico seco PVS: Es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo expresado en kilogramos por metro cubico. Se usara para convertir el peso a volúmenes, es decir para conocer el consumo de agregado por metro cubico.

Se obtiene mediante la fórmula:

$$PSS = ((W_{mr} - W_r) / V) \times 1000$$

PSS = Peso específico del agregado seco y suelto en Kg/m3

W_{mr} = Peso del recipiente más el peso del material en Kg.

W_r = Peso del recipiente en Kg.

V = Volumen del material en litros

Densidad superficialmente seca DSSS: Es aquella en que se considera el volumen macizo de las partículas del árido, más el volumen de los poros inaccesibles. Permite conocer los volúmenes compactos del árido con el fin de dosificar hormigones. La absorción está íntimamente relacionada con la porosidad interna de los granos del árido, definiéndose como la masa de agua necesaria para llevar un árido de estado seco a estado superficialmente saturado seco.

La densidad real de la gravilla saturada superficialmente seca se calcula:

$$DSSS = (M_{ss} / (M_{ss} - M_{s\ m})) * 100 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

DSSS: Densidad real seca superficialmente saturada

M_{ss} : Masa superficialmente saturada seca en Kg

$M_{s\ m}$: Masa sumergida en Kg

Fuente: Ensayos de laboratorio de suelo. Instituto tecnológico Oaxaca. (Instituto Tecnológico Oaxaca, 2009)

Tabla 19. Ensayo granulométrico del agregado fino de Caleta Jambeli.

GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO					
TAMIZ	TAMIZ EN MM	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% ACUMULADO	ESPECIFICACIONES A.S.T.M.
3/8"	9,5	12,6	2,52	97,48	100
No4	4,75	21,8	4,35	95,65	95-100
No8	2,36	80,2	16,04	83,96	80-100
No16	1,18	240,3	48,05	51,95	50-85
No30	0,6	439,7	87,93	12,07	25-60
No50	0,3	496,6	99,32	0,68	10-30.
No100	0,15	499,2	99,84	0,16	2-10.
No200	0,075	499,9	99,97	0,03	0-3.
TOTAL		500	3,58		
		PVS= 1350 KG/CM2	MF= 3,58	DSSS= 2,580	

Fuente: Ensayo de Laboratorio de Suelos del Ing. Augusto Barriga.

Cálculo del Agregado Grueso:

Del ensayo granulométrico del agregado fino, con el valor del Módulo de Finura de 3,58 y el tamaño máximo del agregado de 1", obtendremos el volumen aparente del agregado grueso, lo que nos servirá para posteriormente encontrar el peso del agregado grueso.

En la Tabla 20 encontramos el Volumen aparente grueso: 0,58m³ del peso del agregado grueso, que se obtiene multiplicando su volumen aparente por su peso específico aparente.

Tabla 20. Calculo de volumen aparente grueso.

TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO		MODULO DE FINURA													
mm	PULGADAS	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	
9,51	3/8"	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,4	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	
12,7	1/2"	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,5	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,43	
19	3/4"	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,6	0,58	0,56	0,54	0,52	0,5	0,48	0,46	
25,4	1"	0,7	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,6	0,59	0,58	
38,1	1 1/2"	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,7	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	
50,8	2"	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,7	0,69	0,68	0,67	
64	2 1/2"	0,84	0,83	0,82	0,81	0,8	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	
76,1	3"	0,9	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,8	0,79	0,78	

Peso agregado grueso = Volumen Aparente del Agregado Grueso x Peso Volumétrico Varillado = $0,58 \text{ m}^3 \times 1500 \text{ Kg/m}^3 = \mathbf{870 \text{ Kg}}$.

El valor del peso volumétrico varillado fue obtenido de la Tabla No 21. Calculo de granulometría del agregado grueso.

Cálculo de Volúmenes efectivos:

Se refiere al cálculo de los volúmenes efectivos del cemento, agua, agregado grueso y aire atrapado:

Volumen cemento = Peso del cemento / densidad del cemento = $433,33 \text{ kg} / 3150 \text{ kg/m}^3$: **0,137 m³**

El peso específico relativo o densidad del cemento Portland tipo I, oscila entre 3.100 Kg/m^3 y 3.200 Kg/m^3 . Para el caso de obras que no requieren determinar con exactitud el peso específico o densidad del cemento se puede asumir en el cálculo del valor del promedio que es 3150 kg/m^3 .

La principal utilidad que tiene el peso específico del cemento o densidad, está relacionada con el diseño y control de mezclas de concreto. (Universidad Centroamericana, 2006)

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA “JOSE SIMEON CAÑAS”, UCA.

Volumen del agua = Peso del agua / densidad del agua: $195 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3$: **0,195 m³**

Volumen de agregado grueso = Peso del agregado / DSSS = $870 \text{ kg} / 2660 \text{ kg/m}^3$: **0,33 m³**

Las densidades superficialmente seca fue obtenida de la Tabla No 21. Calculo de granulometría del agregado grueso de Caleta Jambelí.

Volumen de aire atrapado = 6% : 0.06 . Obtenido de la tabla No Tabla número tres. Contenido total de aire para hormigón expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo.

Volumen de agregado fino:

Volumen agregado fino = $1 \text{ m}^3 - (\text{V. cemento} - \text{V. agua} - \text{V. agregado grueso} - \text{V aire})$:

Volumen agregado fino= $1 \text{ m}^3 - 0,137 \text{ m}^3 - 0,195 \text{ m}^3 - 0,33 \text{ m}^3 - 0.06 \text{ m}^3$:

Volumen agregado fino = 0.278 m³

Peso del agregado fino:

Peso agregado fino = Volumen agregado fino x densidad del agregado fino

Peso agregado fino = (0.278 m3) (2.58 x 1000 Kg/ m3) = 717.24 Kg

Tabla 22. Cuadro resumen de volúmenes y peso de los materiales para hormigón.

MATERIAL	VOLUMEN NETO	PESO (KG)
CEMENTO	0,137 M3	433,00 KG
AGREGADO FINO	0.278 M3	717,24 KG
AGREGADO GRUESO	0,33 M3	870,00 KG
AGUA	0,195 M3	195,00 KG
AIRE ATRAPADO	0,06 M3	0 KG

PESO EN 1 M3 DE HORMIGÓN

CEMENTO = 433,00 KG. Numero de sacos = 9

ARENA = 717,24 KG

PIEDRA = 870,00 KG.

AGUA = 195,00 lts.

CANTIDAD DE MATERIALES PARA UN SACO DE CEMENTO

CEMENTO = 433,00 KG. / 9 = 48,11 KG.

ARENA = 717,24 KG /9 = 79,63 KG.

PIEDRA = 870,00 KG. /9 = 96,67 KG.

AGUA = 195,00 lts. /9 = 21,67 LTS.

VOLUMEN SUELTO

ARENA = $V = P/PVS$ 79,63 KG. /1.350 = 0,06 M3

PIEDRA = $V = P/PVV$ 96,67 KG. /1500 = 0,065 M3

AGUA = 21,67 LTS.

DOSIFICACION EN CAJONETAS DE 0,40 X 0,40 X h = 0,16 m² x h

h arena $h = V/A$ 0,06/0,16 = 0,375 = 02 CAJONETAS DE 0,187m. DE ALTURA

h piedra $h = V/A$ 0,065/0,16 = 0,40 = 02 CAJONETAS DE 0,20 m DE ALTURA

DOSIFICACION:

CEMENTO = 1 u Saco de 50 Kg

ARENA = 2 cajonetas (0,40 x 0,40 x 0,19 m)

PIEDRA = 2 cajonetas (0,40 x 0,40 x 0,20 m)

AGUA = 21,67 lts.

ADITIVO = 1 lts (PLASTOCRETE 161HE EN PROPORCIONES RECOMENDADAS POR FABRICANTE)

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

En este Trabajo de Titulación se ha procurado exponer sobre las experiencias personales vividas en la Antártida durante la XIV Expedición de la Armada del Ecuador, efectuada entre diciembre 2009 hasta febrero 2010, periodo en el cual se realizó la construcción del llamado Módulo 4 de Laboratorios de la Estación Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado.

A lo largo del proceso de estudios y ensayos de materiales así como de los procedimientos empleados para la fabricación de los hormigones que se usaron en estos trabajos, se han alcanzado a deducir ciertas conclusiones de orden técnico que pueden resultar útiles para los lectores de estos apuntes que tengan experiencia en el diseño y construcción con obras de hormigón.

Entre estas conclusiones tenemos, en primer lugar, la necesidad de contar con diseños de hormigones para varios tipos de usos, utilizando agregados de la zona cercana a la Estación ecuatoriana de la Antártida, criterio que se extiende en general a obras de hormigón en sitios lejanos e inhóspitos. . La toma de muestras de los agregados de piedra y arena, utilizados en la elaboración del hormigón de la cimentación del Módulo 4, permitió la elaboración del diseño del hormigón para futuras construcciones.

Por otra parte, se plantean las medidas que deberían preverse para enfrentar las dificultades del vaciado del hormigón en climas fríos, causadas principalmente por las bajas temperaturas ambientales y por no proteger debidamente al hormigón del congelamiento, lo que, a su vez, ocasiona que se extienda el tiempo de fraguado, reduciéndose así el desarrollo de resistencias e incrementándose el agrietamiento por retracciones plásticas.

Pero, pese a estas dificultades, se ha podido colegir que el calentamiento apropiado del agua utilizada para la fabricación del hormigón de los plintos del

Módulo No. 4 de Laboratorio así como el control minucioso de la dosificación y cantidad de agua realizado durante la mezcla, permitió obtener altas resistencias del hormigón, superiores a 400 Kg/cm², con temperatura ambiente de 1° a 4°C. A ello se agregó la conveniencia del empleo del aditivo líquido para hormigón PLASTOCRETE 161HE, plastificante reductor de agua y acelerador de resistencias, que permitió acelerar el proceso de fraguado, incrementando las resistencias tempranas.

Asimismo, se concluye que para trabajos de construcción en sitios de climas y condiciones extremas se requiere que el personal de obra se adapte en mejor forma a estas condiciones y sean además especialistas y gente de experiencia en construcción, de manera que puedan, en efecto, realizar estos trabajos de manera más eficaz.

6.2 RECOMENDACIONES

Para las condiciones difíciles expuestas se proponen las siguientes recomendaciones, en especial de orden técnico:

1. Mejorar las prácticas constructivas durante la fundición. Además de calentar el agua, utilizar un sistema de calentamiento para mantener la temperatura del hormigón superior a los 13°C y proteger las superficies expuestas al viento para evitar la evaporación del agua.
2. Disponer de equipos adecuados para calentar el agua junto a la obra, con la debida protección de una caseta y controlar la temperatura del agua caliente hasta aproximadamente 40°C, para garantizar muestras homogéneas de hormigón en obra.
3. Proteger del congelamiento con recubrimiento de plásticos o ensacados a los agregados piedra y arena a ser utilizados en la construcción.
4. Evitar el vaciado del concreto en substratos congelados

5. Utilizar aditivos químicos reductores de agua y aceleradores de resistencia, para evitar la afectación a cambios bruscos de temperatura después de vaciado el hormigón.

6. Reforzar el curado del hormigón con uso de plásticos, papel impermeable o membranas de curado, que contribuyan a mantener un contenido de humedad y temperatura adecuadas durante las etapas tempranas de fraguado.

7. Si bien se puede continuar utilizando, para futuras construcciones, el material proveniente de Caleta Jambelí, se deberá ejercer un mayor control granulométrico sobre este material a medida que se explota esta fuente. Un procedimiento constructivo adecuado sería utilizar un tamiz estándar de tamaño adecuado para separar los áridos finos de los gruesos.

BIBLIOGRAFIA

1. Plan de operaciones para el sostenimiento de la Estación Antártica permanente “Pedro Vicente Maldonado”, Instituto Antártico Ecuatoriano, INAE, 2012.
2. Adhesión del Ecuador al Tratado Antártico. Acuerdo Ministerial 564-A, Registro Oficial 823 de 2 de Diciembre de 1987. Ecuador, pp. 244
3. Plan de implementación de la Estación Antártica Permanente “Pedro Vicente Maldonado”, Instituto Antártico Ecuatoriano, INAE, 2012.
4. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05)
5. y Comentario (ACI 318SR-05), Comité ACI 318
6. Reglamento Estructural para Edificaciones, disponible en <http://aci>.
7. Norma Ecuatoriano de la construcción, Estructuras del hormigón armado, NEC-SE-HM, INEN 5, Parte 2, 2014.
8. Neville, A.M. “Properties of Concrete”, Longman Scientific & Technical, 3 ed., Inglaterra 1983.
9. Código ACI 318-05: “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”.
10. Lewis, H Tuthil American Concrete Institute. Committee 306 1990
11. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2011, Guía para la colocación de concreto en clima frío. México: IMCC.
12. BASF The Chemical Company, 2014. Recuperados de http://www.asocreto.org.co/boletin/infraestructura1_2014/3.pdf
13. Instituto Tecnológico Oaxaca, 2009. Recuperado de <http://es.slideshare.net/raysugar5/peso-especifico-o-volumetrico-de-los-agregados-secos-y-sueltos>
14. R., Herrada Barreto 2012 Recuperado de <http://es.slideshare.net/raysugar5/pesos-volumetricosdelagravayarena>
15. Universidad Centroamericana, 2006 Recuperado de <http://www.uca.edu.sv/mecanicaestructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/DETERMINACION%20DEL%20PESO%20E SPECIFICO%20DEL%20CEMENTO.pdf>
16. Vasconez, 2010 Estudio de los Materiales utilizados para la construcción de los Módulos en la Estación Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado
17. Normas de la American Society for Testing and Materials:

- ASTM C191 - 08 Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle
- ASTM C31/C31M-08a Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field
- ASTM C39/C39M-04 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- ASTM C136 - 06 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates
- ASTM C127 - 07 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate
- ASTM C128 - 07a Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate
- ASTM C29 / C29M - 09 Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate
- ASTM C33 / C33M - 08 Standard Specification for Concrete Aggregates
- ASTM C-494M “Especificación para aditivos químicos utilizados en la elaboración de hormigón”
- ACI 306 R-88 “Vaciado de hormigón a Bajas Temperaturas”

ARQ. Patricia Torres Haro

ALUMNO II PROMOCION

MAESTRIA EN

INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación


DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Torres Haro Patricia Mercedes, con C.C: # 1705810529 autor(a) del trabajo de titulación: *Diseño de Hormigones en bajas temperaturas, para aplicación en las construcciones de la Estación Científica Ecuatoriana "Pedro Vicente Maldonado"* previo a la obtención del grado de **MAGISTER EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de graduación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 16 de noviembre de 2015

f. 
Nombre: Torres Haro Patricia Mercedes
C.C: 1705810529



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño de Hormigones en bajas temperaturas, para aplicación en las construcciones de la Estación Científica Ecuatoriana "Pedro Vicente Maldonado"		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Torres Haro, Patricia Mercedes		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Suárez Rodríguez , Luis Ernesto		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
UNIDAD/FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:	Maestría en Ingeniería de la Construcción		
GRADO OBTENIDO:	Magister en Ingeniería de la Construcción		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de noviembre de 2015	No. DE PÁGINAS:	69
ÁREAS TEMÁTICAS:	Propiedad del Material y Control de Calidad del Hormigón		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Resistencia del hormigón, congelamiento del hormigón, ensayos, bajas temperaturas, agregados, calentamiento del agua, termocuplas.		
RESUMEN/ABSTRACT :	<p>El presente trabajo está enfocado en realizar diseño de hormigones de alta resistencia, en bajas temperaturas para futuras construcciones en la Estación Científica Ecuatoriana "Pedro Vicente Maldonado" en la Antártida, en base a resultados de laboratorio de muestras de agregados traídas del lugar, la experiencia vivida en la construcción del Módulo 4, al haber participado en la XIV Expedición Antártica de diciembre del 2009 a febrero del 2010 y a los excelentes resultados obtenidos de las muestras de hormigón tomadas en obra y analizadas en el Laboratorio de Estructuras de UCSG, alcanzando resistencias de 417Kg./cm² con cemento Portland.</p> <p>Se detallan las normativas ecuatorianas existentes para elaborar hormigones en climas extremos, incorporación de aditivos que garanticen la elaboración de hormigones de altas resistencias, control de temperatura y curado de hormigón. La descripción de las dificultades del vaciado de hormigón en la Antártida al congelarse el agua, la importancia de haberla calentado para mantener una temperatura adecuada del hormigón que garantizo obtener altas resistencias, llevando un registro estadístico de temperatura del clima y del hormigón, control de la dosificación y curado. Además de tomas de muestras de hormigón, de agregados del lugar, de salinidad, ensayos de compresión simple y pruebas no destructivas de hormigones existentes y los fabricados. Con los resultados de laboratorio obtenidos y las normativas vigentes, se realizó el diseño de hormigón de 350 Kg/cm² para nuevas construcciones, lo cual permitirá determinar con exactitud las cantidades de materiales a transportar y prever las dificultades en su elaboración en sitios similares.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-2187581 / 0998458556	E-mail: ptorres@armada.mil.ec / pattytorresh@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Mercedes Beltrán Velásquez		
	Teléfono: +593-4- 2- 202763 ext 1021		
	E-mail: mercedesbel@yahoo.com		

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	