



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**CONSTRUCCIÓN DEL CASCO ESTRUCTURAL DE
VIVIENDAS CON AISLAMIENTO TÉRMICO EN UNA
OBRA DE VIVIENDA MASIVA EN APURÍMAC**

Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, que presentan los bachilleres:

RONALD DÍAZ DOMÍNGUEZ
ROBERTO CARLOS CALLEHUANCA VERGARA

Asesor: Ing. Martin Herrera Martinez

Lima, septiembre de 2013

RESUMEN

Esta tesis presenta de forma detallada el proceso constructivo del casco estructural de viviendas caracterizadas por poseer en sus elementos perimetrales un aislante térmico que permite mejorar las condiciones de temperatura interior, buscando alcanzar el confort térmico para sus ocupantes. Debido a que no se registra en nuestro país la construcción de vivienda masiva con sistemas de aislamiento térmico, se describe este proceso constructivo y se presenta como una alternativa a evaluar en futuros proyectos que se ubiquen en zonas donde el clima es frío.

En el primer capítulo se realiza la introducción de la tesis, en el cual se presenta al proyecto y a sus antecedentes. Luego, en el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico concerniente a viviendas en climas fríos, se analiza el estado actual de las viviendas en el Perú en zonas con esas características climáticas y su respectiva reglamentación; y finalmente, se presenta como referencia normativa y constructiva el caso de Chile.

En el tercer capítulo, se desarrolla la descripción general del Proyecto, además de la memoria descriptiva y especificaciones técnicas de las viviendas. Posteriormente, en el cuarto capítulo se muestra el planeamiento y la rutina de programación empleado por la empresa contratista, basado en el sistema Last Planner.

Luego, en el quinto capítulo se presenta la secuencia constructiva empleada y se desarrolla los procedimientos constructivos de las partidas más importantes en la construcción del casco estructural. Debido al clima frío de la zona del Proyecto, severo en época de heladas, se describe las atenciones especiales que recibe el concreto. Además, se muestra también los procedimientos empleados para la reparación, según se requiera, de los defectos más resaltantes de los elementos de concreto armado.

En el sexto capítulo se analizan los índices de productividad empleados para el control de la productividad de la obra y se plantean propuestas para su mejora; y finalmente, se presentan las conclusiones producto del desarrollo de la tesis.

En los anexos del presente documento se muestran mediante imágenes un proceso constructivo de aislamiento alternativo, un dossier de fotos del proceso constructivo empleado y se presenta también los planos de estructuras y arquitectura de uno de los siete tipos de viviendas del Proyecto.

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Construcción del casco estructural de viviendas con aislamiento térmico en una obra de vivienda masiva en Apurímac"

Área : Construcción -Investigación-

Asesor : Ing. Martín Herrera

Alumno : RONALD DÍAZ DOMÍNGUEZ

Código : 2007.1103.0.412

Alumno : ROBERTO CARLOS CALLEHUANCA VERGARA

Código : 2008.4007.4.412

Tema N° : # 214

Fecha : Lima, 5 de junio de 2013



DESCRIPCIÓN

Debido a que no se registra en nuestro país la construcción de viviendas masivas con sistemas de aislamiento térmico, es necesario describir este proceso constructivo y presentarlo como una alternativa a evaluar en futuros proyectos que se ubiquen en zonas donde el clima es frío. Este proyecto sienta un antecedente para la construcción masiva de viviendas que, a su vez, mejoran las condiciones de vida de poblaciones afectadas por climas de frío extremo.

OBJETIVOS

- Describir la programación y las etapas del proceso constructivo del casco estructural de viviendas con aislamiento térmico en una obra de vivienda masiva en Apurímac, con el fin de poder aplicarlo en futuros proyectos similares.
- Realizar un análisis y una propuesta de mejora de la productividad de las tres partidas más importantes de la obra: colocación de acero, encofrado y colocación de concreto.

PLAN DE TRABAJO

El planeamiento y programación de la obra se realiza con los fundamentos de la filosofía Lean Construction, usando sus herramientas como el *Lookahead Planning*. Así mismo, la productividad de las partidas mencionadas se analizará mediante esta misma teoría de producción.

La descripción del proceso constructivo se realizará en base a las actividades desarrolladas en campo, detallando los procedimientos que lo conforman.

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

CONCLUSIONES

Se presentarán los comentarios y conclusiones más importantes con respecto al desarrollo del trabajo teniendo en cuenta el procedimiento constructivo empleado, así como otros factores.

BIBLIOGRAFÍA

Se mencionará la bibliografía utilizada.

ANEXOS

Se adjuntarán algunos planos y formatos pertinentes.

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas.

AGRADECIMIENTO

Esta tesis no hubiese sido posible sin el apoyo del grupo Graña y Montero; su interés por difundir el conocimiento y contribuir a la ingeniería del país fueron el inicio de este trabajo. Un especial agradecimiento a GyM, al Proyecto y a la Gerencia de Recursos Humanos.

Así mismo, un agradecimiento a nuestro asesor, Ing. Martin Herrera, por buscar la constante mejora del presente trabajo. Gracias también a todos nuestros profesores universitarios.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por brindarme una formación basada en el desarrollo personal y profesional. Gracias por su incomparable esfuerzo. También va dedicado el presente trabajo a mis hermanos y a mi familia.

Ronald Díaz D.

Este trabajo está dedicado a mis padres por su constante apoyo.

Roberto Callehuanca V.



CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	VIVIENDAS EN CLIMAS FRÍOS.....	4
2.1	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1.1	Arquitectura bioclimática.....	4
2.1.2	Confort térmico.....	5
2.1.3	Aislantes térmicos en viviendas.....	6
2.1.3.1	Definición.....	6
2.1.3.2	Materiales que aportan aislamiento térmico en la construcción.....	7
2.1.3.3	Consideraciones de aislamiento.....	8
2.2	VIVIENDA EN PERÚ EN CLIMAS FRÍOS.....	9
2.2.1	Generalidades.....	9
2.2.2	Tipología.....	10
2.2.3	Normativa.....	11
2.2.4	Proceso constructivo.....	12
2.3	REFERENCIA DE VIVIENDAS EN CLIMAS FRÍOS: CHILE.....	12
2.3.1	Normativa.....	12
2.3.2	Proceso constructivo.....	13
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	15
3.1	ANTECEDENTES.....	15
3.2	UBICACIÓN.....	15
3.3	VÍAS DE ACCESO.....	16
3.4	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA.....	17
3.5	MEMORIA DESCRIPTIVA.....	17
3.5.1	Habilitación Urbana.....	17
3.5.1.1	Arreglo general de la ciudad.....	18
3.5.1.2	Espacios urbanos.....	20
3.5.1.3	Viabilidad.....	20
3.5.2	Viviendas.....	20
3.5.2.1	Arquitectura.....	20
3.5.2.2	Estructuras.....	24
3.5.2.3	Instalaciones Sanitarias.....	26
3.5.2.4	Instalaciones Eléctricas.....	27
3.6	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE VIVIENDAS.....	28
3.6.1	Arquitectura.....	28
3.6.2	Estructuras.....	30

3.6.3	Instalaciones Sanitarias.....	32
3.6.4	Instalaciones Eléctricas	33
4.	PLANEAMIENTO DE OBRA.....	34
4.1	GENERALIDADES	34
4.2	ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO	35
4.3	PLAZO DE EJECUCIÓN	35
4.4	PROGRAMACIÓN.....	37
4.4.1	Plan Maestro	38
4.4.2	Look Ahead Planning y Análisis de Restricciones.....	38
4.4.3	Plan Semanal	39
4.4.4	Plan Diario.....	44
4.4.5	Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) y Causas de Incumplimiento (CI).....	44
4.4.6	Elaboración de Plan Diario, PPC y CI.....	44
4.5	PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS	48
5.	ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DEL CASCO ESTRUCTURAL	51
5.1	GENERALIDADES	51
5.2	SECUENCIA CONSTRUCTIVA EMPLEADA	52
5.2.1	Actividades Previas	52
5.2.2	Actividades de la secuencia constructiva.....	53
5.3	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES MÁS IMPORTANTES	56
5.3.1	Acero de refuerzo – Aislante térmico	56
5.3.1.1	Habilitación.....	58
5.3.1.2	Colocación.....	58
5.3.2	Encofrado metálico.....	65
5.3.2.1	Habilitación y encofrado	68
5.3.2.2	Desencofrado	71
5.3.3	Concreto premezclado.....	71
5.3.3.1	Colocación.....	73
5.3.3.2	Generación de microclima para el concreto.....	79
5.4	DEFECTOS EN EL CONCRETO DE LAS VIVIENDAS	83
5.4.1	Cangrejeras y segregaciones	83
5.4.2	Burbujas	86
5.4.3	Fisuras y grietas	88
6.	PRODUCTIVIDAD DE OBRA	91
6.1	CONCEPTO E IMPORTANCIA	91
6.2	HERRAMIENTAS DE CONTROL Y EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD..	92
6.2.1	Carta balance	92

6.2.2	Nivel Generales de Actividad.....	92
6.2.3	Índice de Productividad (IP).....	93
6.3	ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD	93
6.3.1	Acero de refuerzo y Aislamiento térmico.....	93
6.3.2	Encofrado metálico.....	95
6.3.3	Colocación de concreto	96
7.	CONCLUSIONES.....	98



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Cronograma del Proyecto Minero.....	2
Tabla 2.1. Conductividad térmica de materiales de construcción.....	8
Tabla 2.2. Exigencias mínimas de Transmitancia y Resistencia Térmica Total para muros según zonificación	13
Tabla 3.1. Cuadro de Áreas - Zonificación	19
Tabla 3.2. Cuadro comparativo de aportes normativos y del proyecto	19
Tabla 3.3. Distribución de Ambientes y Áreas en lotes de 500.00 m ²	21
Tabla 3.4. Distribución de Ambientes y Áreas en lotes de 250.00 m ²	23
Tabla 3.5. Parámetros de Diseño Sismorresistente	25
Tabla 3.6. Potencia Instalada y Máxima Demanda del Proyecto.....	27
Tabla 4.1. Hitos del Proyecto – Agosto de 2012	37
Tabla 4.2. Look Ahead Planning – Semana 29 a Semana 34	40
Tabla 4.3. Análisis de Restricciones – Semana 29	41
Tabla 4.4. Plan Semanal – Semana 33.....	42
Tabla 4.5. Porcentaje de Plan Cumplido y Causas de Incumplimiento – Semana 33.....	43
Tabla 4.6. Plan Diario – Día 10 de agosto de 2012.....	45
Tabla 4.7. Porcentaje de Plan Cumplido – Día 10 de agosto del 2012.....	47
Tabla 4.8. Presupuesto Venta del Proyecto – Fecha de análisis: Setiembre 2012.....	48
Tabla 4.9. Costo Directo Viviendas – Fecha de análisis: Setiembre 2012.....	49
Tabla 4.10. Costo Directo Casco Estructural – Fecha de análisis: Setiembre 2012	50
Tabla 5.1. Metrado de Acero de refuerzo y de sostenimiento con varillas.....	57
Tabla 5.2. Metrado de Aislante Térmico.....	57
Tabla 5.3. Metrado de Encofrado.....	65
Tabla 5.4. Metrado de Concreto Premezclado	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Comportamiento horario típico de la temperatura. Estación Sicuani, Cusco (11 de mayo 2004).....	9
Figura 2.2. Distribución de viviendas según los materiales predominantes en muros exteriores en las regiones afectadas por la helada y el friaje	10
Figura 2.3. Detalle de muros con aislamiento térmico y refuerzo de fibra de vidrio	14
Figura 3.1. Mapa regional y provincial de ubicación del proyecto	16
Figura 4.1. Organigrama del proyecto.....	36
Figura 4.2. Cronograma general	38
Figura 5.1. Esquema de distribución del acero en platea.....	59
Figura 5.2. Detalles del acero, separadores y aislantes en muros perimetrales	61
Figura 5.3. Vista en planta de distribución aislante – acero.....	62
Figura 5.4. Ejemplo de modulación de muros	66
Figura 5.5. Elementos de encofrado (1 – 3)	69
Figura 5.6. Elementos de encofrado (2 – 3)	69
Figura 5.7. Elementos de encofrado (3 – 3)	70
Figura 5.8. Secuencia de vaciado de concreto en Vivienda 1R.....	77
Figura 5.9. Vaciado mediante bomba de muros y losas del primer nivel de una vivienda con carpa instalada.....	77
Figura 5.10. Calentador de aire seco modelo HD 38 – Wacker Neuson	81
Figura 5.11. Registro de temperaturas del concreto, microclima y del ambiente exterior .	82
Figura 5.12. Segregación de un muro de ductilidad limitada	84
Figura 5.13. Cangrejera en muro perimetral con exposición de acero y aislante térmico .	84
Figura 5.14. Presencia de burbujas en el concreto de un muro perimetral.....	87
Figura 5.15. Presencia de fisuras en losa	88
Figura 5.16. Recorrido de las instalaciones eléctricas y fisuras en losas en una vivienda tipo 1R	89
Figura 6.1. IP Acero: Semana 15 a 35.....	94
Figura 6.2. IP Aislante: Semana 15 a 35.....	94
Figura 6.3. IP Encofrado: Semana 15 a 35	96
Figura 6.4. IP Concreto: Semana 15 a 35.....	97

1. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Tesis describe de forma detallada el proceso constructivo del casco estructural de las edificaciones residenciales del Proyecto Nueva Fuerabamba, obra consistente en la construcción de una nueva ciudad para reasentar a los pobladores de la comunidad de Fuerabamba, la cual se encuentra en la zona de explotación de un proyecto de minería, ubicado en la región de Apurímac.

Esta descripción representa el mayor aporte de la tesis al considerar el uso del aislante térmico como parte integral de las viviendas y por contar con condiciones severas de clima llegando a temperaturas bajo los cero grados, por lo que se provee de atenciones especiales al concreto. Así mismo, esta tesis detalla los procedimientos constructivos para las reparaciones estructurales del concreto; y además, presenta el planeamiento de obra y la rutina de programación. Finalmente, se realiza un análisis de los índices de productividad de las partidas principales en la construcción del casco estructural.

La construcción de este proyecto, ubicado en el distrito de Chalhuanhuacho, provincia de Cotabambas, fue concebida y diseñada dentro del marco de un proyecto de minería de gran trascendencia en la región. La ejecución de parte de la obra fue otorgada a la empresa G y M S.A., parte del Grupo Graña y Montero. Esta nueva ciudad contará con 441 viviendas, ubicadas en lotes de 250 y 500m² y con 115 y 248m² de área techada, para las futuras familias reasentadas, cada una de las cuales contará con servicios de luz, agua potable y desagüe, pavimentación y saneamiento exterior. En paralelo a la construcción de las viviendas, se realiza el movimiento de tierras y la habilitación urbana.

La ciudad contará además con espacios destinados a la construcción de infraestructura pública y servicios para el sector salud y educación, para el encuentro social y el esparcimiento, tales como un centro de salud, centros de educación, parques, entre otros. Tendrá diversos accesos asfaltados que le permitirán unirse a los poblados cercanos y no quedar aislada, salvaguardando así su identidad cultural.

Así mismo, se ha tenido un especial cuidado en la hidrografía de la zona para lo que se ha diseñado un sistema de canales y canaletas que permiten evacuar las aguas producto de las fuertes precipitaciones. Cabe resaltar que todas las edificaciones, tanto

residenciales como no residenciales, serán del tipo estructural de ductilidad limitada, con presencia en los muros exteriores de poliestireno expandido como aislante térmico.

Este Proyecto de vivienda masiva ha sido pensado en el desarrollo de la comunidad reasentada, dando oportunidad a sus pobladores de obtener una mejor calidad de vida, sin quedar aislados o sufrir desintegración social, y es un ejemplo claro de acuerdo entre la minería y las comunidades dentro del área de operación e influencia.

El Proyecto Minero

Este proyecto es propiedad en su totalidad de una empresa de origen suizo dedicada a la extracción de diversos minerales. La empresa, en su división Sudamérica, reúne operaciones y proyectos en Perú, Chile y Argentina.

El Proyecto Minero fue adjudicado a la empresa mediante el Concurso Público Internacional PRI-80-03 de fecha del 31 de agosto del 2004 y comprende las concesiones mineras de Ferrobamba, Sulfobamba, Chalcobamba y Charcas. En conjunto, abarcan un área cercana a 35 mil hectáreas y se ubica a más de 4.000 metros sobre el nivel del mar, en las provincias de Cotabambas y Grau, a 72 kilómetros de la ciudad del Cusco y 126 kilómetros de la ciudad de Abancay. El yacimiento minero cuenta con recursos por un total de 1 700 millones de toneladas de cobre y está previsto que inicie sus operaciones para el segundo semestre del 2014 con una inversión de 4.230 millones de dólares y una vida útil de 18 años.

Tabla 1.1. Cronograma del Proyecto Minero

2004	La empresa minera adquiere el derecho exclusivo de explorar la zona y una opción para desarrollar la mina.
2005	Inicio de la exploración.
2007	Fin del estudio conceptual, inicio de la planificación del reasentamiento.
2008	Fin del estudio de prefactibilidad.
2009	Fin del estudio de factibilidad.
2010	Fin de la evaluación del impacto ambiental.
2011	Inicio potencial de construcción para el reasentamiento de la comunidad de Fuerabamba.
2014	Inicio potencial de operaciones en el Proyecto Minero.

Fuente: Adaptado de proinversion.gob.pe

Al igual que todo proyecto minero, este atraviesa las etapas de exploración y factibilidad, construcción, operación y cierre. Es así que para la ingeniería cuenta con el asesoramiento de una compañía especializada en este rubro, y para los temas sociales, ambientales y de desarrollo sostenible cuenta con el apoyo de un grupo de peritos que auditan el desempeño del Proyecto Minero.

Es importante señalar que este Proyecto Minero se sitúa en una de las regiones más pobres del Perú donde las actividades principales son la agricultura de autosubsistencia y la ganadería, siendo sus productividades y niveles de desarrollo bajos. La zona posee además una de las tasas más altas de desnutrición y de analfabetismo. El acceso a servicios de luz, agua potable y desagüe es limitado, las rutas de comunicación son de baja calidad, y las viviendas son en la mayoría de adobe.

En este contexto, por política de la empresa minera y por lograr una sólida comunicación con la población a reasentar es que se han creado diversos programas para el progreso y bienestar en los aspectos sociales y económicos. Uno de ellos permitirá a las familias de Fuerabamba contar con el asesoramiento y apoyo suficiente para que alcancen un nivel y calidad de vida esperado en su nueva comunidad.

2. VIVIENDAS EN CLIMAS FRÍOS

El clima del Perú es resultado de una serie de aspectos geográficos de los cuales uno de los más influyentes es la Cordillera de los Andes. Esta cadena de montañas se ubica a todo lo largo de nuestro país y es la que determina las diversas regiones. A su vez, en la sierra, la cordillera genera tres zonas: el Páramo, al norte; la Puna, al centro y sur; y el Altiplano, alrededor de la cuenca del Lago Titicaca.

Durante los meses de mayo a agosto las más bajas temperaturas del Perú se registran en esas zonas altoandinas, principalmente en el Altiplano. La temperatura del aire cercano al suelo desciende a algunos grados bajo cero y este fenómeno atmosférico es conocido como helada, presentándose usualmente como granizadas y nevadas. No obstante, las bajas temperaturas y el friaje se presentan todo el año por lo que tomar medidas para atenuar sus efectos debe ser una prioridad.

En este capítulo se presentan conceptos como arquitectura bioclimática, confort térmico y aislamiento térmico, señalando luego las propiedades de los materiales usados en la construcción para aislar térmicamente las viviendas. Posteriormente, se muestra el tipo actual de las viviendas en las regiones que son afectadas principalmente por las bajas temperaturas en nuestro país. Finalmente, se revisa la normativa y construcción en el Perú y Chile respecto a estas situaciones de clima, ya que ambos son países con características similares en condiciones de temperatura, lo que permite ubicar un contexto de referencia en este aspecto de acondicionamiento térmico en edificaciones para viviendas.

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Arquitectura bioclimática

Actualmente es imprescindible hablar de la relación entre edificación y entorno. De esto aborda la arquitectura bioclimática la cual trata de dotar a las edificaciones no sólo de un diseño apropiado para su uso sino también de adecuarlas a las condiciones climáticas de la zona en la cual se ubica mejorando así sus interiores. Uno de los aspectos, entre otros, que considera son los energéticos.

El aspecto energético se relaciona con los medios de captación y conservación de energía en una vivienda para que esta pueda llegar a convertirse en un lugar confortable térmicamente. Estos medios, entre otros, son la orientación, ventilación y aislamiento térmico. El llegar a alcanzar uno de estos o todos depende mucho de las características del terreno, por ejemplo la disposición de vecinos o del área; o de la vivienda ya construida, si deseamos que esta sea mejorada.

Depende también del hecho que una vivienda diseñada bioclimáticamente puede implicar un costo inicial mayor en comparación al de una vivienda sin consideraciones especiales. Sin embargo, este adicional puede ser amortizado a largo plazo con los menores gastos de la vivienda en sistemas de calefacción o refrigeración.

2.1.2 Confort térmico

La vivienda al ser un espacio de resguardo y habitación para las personas debe ser un lugar seguro y confortable. Siguiendo esta línea, las condiciones de temperatura interior se convierten en aspectos importantes en una vivienda ya que se busca que sus ocupantes residan en un ambiente con confort térmico.

El confort térmico se define como la sensación subjetiva de satisfacción o bienestar ante ciertas características térmicas. Se dice que es subjetiva pues si se expone a un grupo de personas a las mismas condiciones higrotérmicas algunas manifestarán sentirse en un espacio confortable térmicamente, mientras que existe la posibilidad que otras tengan una sensación contraria. En palabras sencillas, puede establecerse que el confort térmico se basa en el hecho de no tener frío o calor.

Para evaluar el confort térmico se han propuesto diversos métodos; sin embargo, el más usado y el cual es la base de la Norma ISO 7730¹ es el Método de Fanger el cual es reconocido por considerar todas las variables posibles tales como temperatura seca del aire, temperatura de las paredes y objetos, humedad relativa, velocidad relativa del aire, nivel de actividad física y características de la vestimenta. Este método permite obtener el Porcentaje de Personas Insatisfechas, conocido como PPD, para ciertas condiciones térmicas y es por esto que es importante.

¹ Norma ISO 7730 – Ergonomía del ambiente térmico “Determinación analítica e interpretación del confort térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local”

Podemos observar que el confort térmico no es sólo un rango de temperaturas del aire sino que depende de todas las variables nombradas anteriormente. Sin embargo, en la mayoría de los casos que se evalúan, la temperatura del aire al interior de la vivienda es el único parámetro que puede ser modificado y controlado mediante diversas soluciones técnicas.

En ese sentido, para establecer una condición de confort térmico son usados algunos rangos de temperatura interior, tales como entre 17 y 27° para trabajos sedentarios, entre 14 y 25° para trabajos ligeros, con una humedad relativa entre 30 a 70%². Estos son pensados en ambientes de trabajo pero que sirven de referencia para viviendas; de forma similar al confort convencional de una temperatura de 20°C y una humedad relativa de 50%.

2.1.3 Aislantes térmicos en viviendas

2.1.3.1 Definición

Un aislante térmico es un material capaz de oponerse al paso de energía entre dos ambientes o cuerpos. En la construcción, son todos aquellos materiales o elementos constructivos que evitan el flujo de calor entre el ambiente interior de la vivienda, o edificación, y el exterior³.

La transferencia de calor entre dos cuerpos puede darse por radiación, a través de ondas electromagnéticas; por convección, a través de un fluido como el aire; y por conducción, cuando los cuerpos están en contacto directo. A continuación se presentan algunos conceptos adicionales necesarios, los cuales son propiedades de los materiales aislantes térmicos.

Conductividad térmica λ

Es la propiedad física que determina a un aislante térmico. Representa la velocidad del calor a través de una masa de material de geometría definida. La conductividad térmica es la propiedad física que expresa el fenómeno de conducción.

² Anexo II del Real Decreto 486/1997 de España.

³ Adaptado del Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica de Chile.

Inercia térmica I

Es la capacidad de un material de almacenar calor para luego emitirlo. Esta característica es aprovechable para zonas de elevada radiación solar durante cierta cantidad de horas y donde además se presenta una diferencia de temperatura amplia entre el día y la noche.

Resistencia térmica R

Es la oposición al paso del calor de un material. Depende directamente de su conductividad térmica e inversamente de su espesor. La resistencia térmica total de un elemento es la sumatoria de todas las resistencias de los materiales y de sus superficies externa e interna.

Transmitancia o Transmisión térmica U

Corresponde a la inversa de la resistencia térmica total.

Un aislante térmico se caracteriza por poseer una baja conductividad térmica o una alta resistencia térmica. La ventaja de usar aislantes térmicos en una vivienda es que permiten establecer en su ambiente interior temperaturas más adecuadas que las existentes en el exterior, almacenando calor y llegando a alcanzar un confort térmico.

2.1.3.2 Materiales que aportan aislamiento térmico en la construcción

En la construcción de edificaciones, se emplean diversos materiales para los elementos de contorno, los cuales no necesariamente favorecen al aislamiento térmico de las viviendas.

Los mejores aislantes se caracterizan por ser materiales porosos o fibrosos debido a que en su interior cuentan con celdas que al momento de su fabricación atrapan generalmente aire. Este fluido al poseer un bajo coeficiente de conductividad térmica mejora las propiedades de aislamiento del material del cual forma parte.

A continuación se muestran algunos materiales de construcción ampliamente usados en nuestro país, como el concreto armado, ladrillo, y otros materiales aislantes con sus respectivas densidades y conductividades térmicas:

Tabla 2.1. Conductividad térmica de materiales de construcción

Material	Densidad Aparente (Kg/m ³)	Conductividad Térmica λ (W/m-°C)
Adobe	1200	0.024
Concreto Armado	2400	1.63
Concreto liviano a base de poliestireno expandido	640	0.214
	840	0.269
Ladrillo macizo hecho a máquina	1400	0.60
	1800	0.79
Poliestireno expandido	20	0.0384
	30	0.0361
Lana de vidrio	12	0.0410

Fuente: Adaptado del Anexo A de la Norma Chilena Nch. 853, Of. 93

2.1.3.3 Consideraciones de aislamiento

Los materiales que se consideren en los muros perimetrales de una vivienda deben ser seleccionados cuidadosamente más aún si esta se encuentra en una zona de clima severo. Estos muros pueden servir como elementos de calefacción o de refrigeración aislando su interior, además de permitir un ahorro en el consumo de energía.

Los aislantes que se dispongan en los muros pueden colocarse en la cara interior del muro; en el interior del muro, como en el caso del Proyecto; o en la cara exterior del muro perimetral.

Dependiendo de la inercia térmica del material este puede aprovecharse para captar energía durante las horas del día en la cual las temperaturas son mayores para luego emitir las cuando estas descienden. Entonces, un buen diseño debe hacer concordar el tiempo del cambio de temperatura exterior con el tiempo de emisión hacia el interior del calor almacenado en los diferentes elementos de contorno de una vivienda.

Una vivienda puede construirse con consideraciones de aislamiento térmico no solo en los muros, también en techos y pisos, en ventanas y puertas, formando así la envolvente térmica de la edificación.

Aunque una vivienda cuente con aislamiento térmico es necesario prestar atención a los puentes térmicos los cuales son zonas de baja resistencia térmica y significan una salida de calor. Los puentes térmicos comunes son los marcos de las ventanas y puertas, pisos, techos, entre otros. También pueden formarse si los aislantes térmicos no son colocados correctamente por lo que debe tenerse especial cuidado.

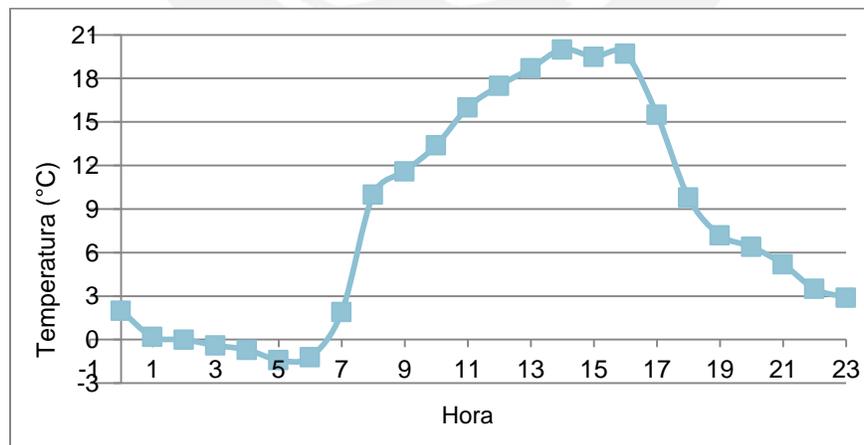
2.2 VIVIENDA EN PERÚ EN CLIMAS FRÍOS

2.2.1 Generalidades

Apurímac, lugar del Proyecto, es una de las regiones del país que se ve más afectada por la helada causando estragos en sus poblaciones, afectando su desarrollo social y económico. Sin embargo, son trece más las regiones principalmente golpeadas por este fenómeno: Ancash, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, La Libertad, Moquegua, Pasco, Puno y Tacna⁴.

Las temperaturas en estas regiones descienden drásticamente durante la noche, mientras que por el día son mayores. Estos cambios son los que caracterizan al clima en estas zonas del país. A continuación se muestra el comportamiento típico de la temperatura en el mes de mayo, época del año donde ya inicia la helada.

Figura 2.1. Comportamiento horario típico de la temperatura. Estación Sicuani, Cusco (11 de mayo 2004)



Fuente: Atlas de Heladas (SENAHMI - MINAG, 2005)

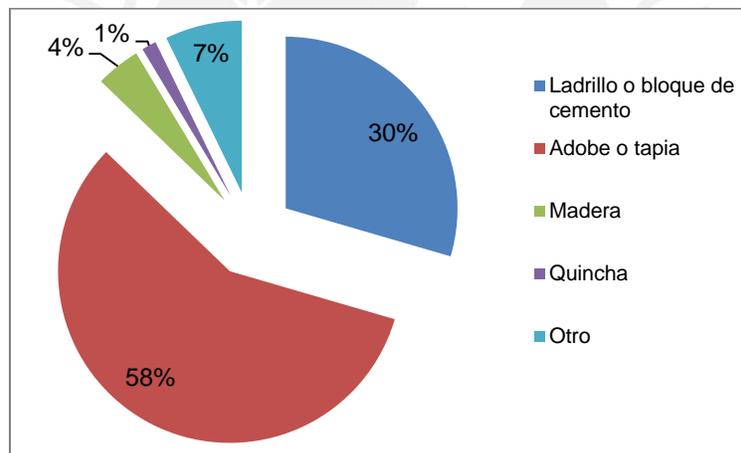
⁴ Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía CER-UNI.

La población expuesta al fenómeno de la helada complica su estado por una inadecuada vivienda, mala alimentación y vestimenta. Es en este sentido que es necesario dotar a las viviendas de características especiales en su construcción, o modificarlas, para alcanzar un confort térmico adecuado mejorando así la calidad de vida de las personas.

2.2.2 Tipología

Según el VI Censo Nacional de Vivienda del 2007 el 34.8% de la población del Perú reside en viviendas con muros exteriores de adobe o tapia mientras que el 46.7% habita en viviendas con muros de ladrillo o bloque de cemento. Si se analiza sólo las catorce regiones que son afectadas principalmente por la helada y el friaje se observa que el porcentaje del uso de adobe aumenta a un 57.7%.

Figura 2.2. Distribución de viviendas según los materiales predominantes en muros exteriores en las regiones afectadas por la helada y el friaje



Fuente: Elaboración propia con datos del INEI.

Enfocándonos en las zonas rurales de la sierra del Perú, tal como es el lugar del proyecto en estudio, el adobe es de amplio uso por su bajo costo y su fácil acceso. Este material de construcción es también reconocido por sus propiedades térmicas tal como lo demuestra su bajo coeficiente de conductividad térmica, que sumado a los espesores de los muros de alrededor de 40cm implican una alta resistencia térmica.

Las viviendas se caracterizan también por contar en los pisos como material predominante la tierra apisonada y en los techos calaminas, paja o tejas. Las puertas y ventanas son metálicas en la mayoría de los casos o de madera pero sin consideraciones de aislamiento. Existen gran cantidad de grietas en los muros, elementos constructivos

con amplias separaciones como en el caso de los encuentros de muro y techo. Todo esto implica que la vivienda no cuente con un adecuado aislamiento lo que conlleva a escapar del confort térmico por más que se cuente con un material en sus muros como el adobe.

Respecto a la distribución del área de las viviendas en las regiones rurales, se caracteriza por contar con tres ambientes: una habitación, cocina y sala; o dos ambientes combinando los dos últimos en uno solo. El área promedio aproximada en estas viviendas es de 50m². Adicionalmente, no se cuentan con criterios de ventilación y al usarse cocinas de leña se complica la salud de sus habitantes.

2.2.3 Normativa

En nuestro país el documento que norma el diseño y ejecución de las habilitaciones urbanas y las edificaciones es el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE. Su finalidad es establecer lineamientos que permitan obtener como resultado construcciones acorde a los requerimientos de sus ocupantes y a su uso.

Sin embargo, su reglamentación respecto al aislamiento térmico de viviendas es insuficiente. En el Título III Edificaciones, en su Norma A.010 “Condiciones generales de diseño” y Norma A.020 “Vivienda” existen diversos artículos que abordan el tema pero de forma superficial y general.

Se señala que debe contarse con soluciones técnicas apropiadas al clima tal que los ambientes cuenten con un grado de aislamiento térmico. Se menciona que para temperaturas por debajo de 12°C es requisito contar con muros exteriores que permitan mantener un nivel de confort térmico, y que las puertas y ventanas al exterior deberán permitir un cierre hermético. También se especifica que de preferencia el aislamiento térmico del cerramiento debe tener una transmisión térmica menor a 1.20 W/m²°C y en otro artículo se establece que el último techo de una vivienda de varios pisos debe tener un aislamiento térmico para llegar al confort térmico similar al de los pisos inferiores⁵.

Debido a que el Perú no cuenta con una reglamentación acorde a este tema, como si la poseen países de la región, desde el 2008 la Dirección Nacional de Construcción, encargada de actualizar las normas del RNE y dar otras disposiciones de construcción, está elaborando una norma que permita establecer las exigencias mínimas de diseño y

⁵ Reglamento Nacional de Edificaciones RNE (2006)

construcción de edificaciones según el clima de la zona, al consumo de energía y a una metodología de cálculo.

Es así que en el 2010 se aprobó la Guía Técnica que incluye un mapa climático nacional destinado sólo para uso arquitectónico, estableciéndose nueve zonas, y recomendaciones de diseño y construcción. Este es el primer paso para construir viviendas bioclimáticas y con un uso energético racional, ya que el Perú era un país que no tenía ningún avance en este tema.

Para la gran cantidad de viviendas rurales de las regiones afectadas por el frío extremo existen diversos programas de ayuda e investigación fomentados por el gobierno y otras organizaciones para su reacondicionamiento o construcción permitiendo mejorar las temperaturas interiores.

2.2.4 Proceso constructivo

No se cuenta con un registro de construcciones de viviendas masivas que consideren aislamiento térmico como parte funcional e integral de la vivienda en nuestro país. Es por esta razón que se considera un aporte describir lo que en esta obra se está ejecutando para que sea considerada como una alternativa aplicable a futuros proyectos.

En la actualidad se cuenta en el mercado nacional con diversos productos para alcanzar el acondicionamiento térmico de viviendas por lo que realizar una evaluación para tomarlo como parte de un proyecto sería adecuado.

2.3 REFERENCIA DE VIVIENDAS EN CLIMAS FRÍOS: CHILE

2.3.1 Normativa

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile MINVU estableció el Programa de Reglamentación sobre Acondicionamiento Térmico de Viviendas en 1994. Se establecieron tres etapas progresivas: la primera, Aislación de techumbre; la segunda, Aislación de muros, ventanas y pisos ventilados; y finalmente, Certificación energética de las edificaciones.

Chile se convirtió en el primer país latinoamericano que en su reglamento de construcción incluyó exigencias de acondicionamiento térmico para viviendas. Se establecieron siete zonas climáticas cada una con sus propios requisitos. En el 2007 entró en vigencia la segunda etapa estableciendo para muros exteriores lo siguiente:

Tabla 2.2. Exigencias mínimas de Transmitancia y Resistencia Térmica Total para muros según zonificación

Zona Térmica	U (W/m ² °K)	Rt (m ² °K/W)
1	4	0.25
2	3	0.33
3	1.9	0.53
4	1.7	0.59
5	1.6	0.63
6	1.1	0.91
7	0.6	1.67

Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones Art. 4.1.10

Su reglamentación es bastante amplia e incluye desde exigencias y requisitos para los diversos elementos de una vivienda o edificación y hasta presenta en su manual de aplicación diversas soluciones constructivas.

2.3.2 Proceso constructivo

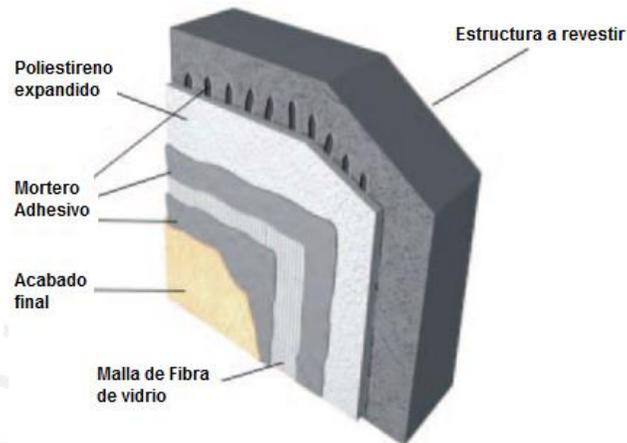
En Chile es de amplio uso la colocación del aislante térmico en los muros por el exterior, una vez ya construida la vivienda. La ventaja de colocar el aislante de esta forma es que no se reduce el espacio interior y su comportamiento higrotérmico es mejor en comparación a colocar el aislamiento por el interior aunque se obtenga la misma resistencia térmica total en ambas distribuciones.

Construido el casco es que recién se coloca el aislamiento, es decir, el proceso constructivo es similar al de una vivienda sin consideraciones especiales por lo que se describirá sólo esta última etapa. Se expone a continuación un sistema constructivo que considera adicionalmente la protección para el aislante térmico. (Ver “Anexo 01 – Secuencia constructiva alternativa de aislamiento térmico” para mayor detalle).

Se cuenta con un muro convencional el cual se destina a revestir, sea de albañilería o de concreto armado. Se coloca sobre el muro una plancha de poliestireno expandido de cierta densidad y espesor, según diseño, aplicando previamente en la plancha mortero adhesivo. Ubicado el aislante se aplica nuevamente este adhesivo, o mortero convencional, se instala la malla de fibra de vidrio para proteger al aislante de impactos previniendo así su deterioro. Luego se vuelve a aplicar mortero para colocar finalmente el

material que dará el acabado final, el cual puede ser una pasta hecho a base cuarzo, mármol y resinas acrílicas. La ventaja es que en algunas marcas este material es ofertado en colores por lo que no es necesario pintar el muro. También puede usarse yeso, cal, entre otros revestimientos. La figura a continuación muestra la estructura de conformación del muro aislado.

Figura 2.3. Detalle de muros con aislamiento térmico y refuerzo de fibra de vidrio



Fuente: Adaptado de www.eurotec.cl

La unión entre el muro y el aislante térmico puede darse también mediante fijaciones mecánicas, o una combinación de estos con morteros. En algunos casos, se desea disponer de una cámara de aire debido a su baja conductividad térmica. Para esto se dispone de perfiles metálicos verticales, generalmente de acero galvanizado, que permitan la separación entre el poliestireno y el muro, generando así la cámara de aire.

Para culminar, existen en el mercado productos prefabricados que son elementos portantes de la estructura y además traen en su interior el aislante térmico. Estos muros consisten en paneles de madera, o de un material estructural adecuado, con alma de poliestireno de alta densidad. La limitación de estos elementos portantes es que se especifica un número máximo de dos pisos. En algunos casos se combinan dos sistemas constructivos, es decir, en el primer nivel se construye con materiales tradicionales como el ladrillo, mientras que el segundo nivel se coloca estos paneles.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1 ANTECEDENTES

Fuerabamba es una comunidad campesina compuesta por 13 barrios los cuales se encuentran dentro y en los alrededores de la zona conocida como Ferrobamba. Es esta una de las regiones que se encuentran mineralizadas y es parte principal del Proyecto Minero, por lo que la población se ve impactada directamente con la construcción de la infraestructura de la mina y los futuros trabajos de operación.

Ante esta situación se estableció este Proyecto como resultado de la negociación entre la empresa minera y la comunidad de Fuerabamba para que los pobladores cedan sus terrenos a cambio de la construcción de una nueva ciudad con el fin de reasentarlos, brindarles una mejora en la calidad de vida y un desarrollo sostenible en el tiempo.

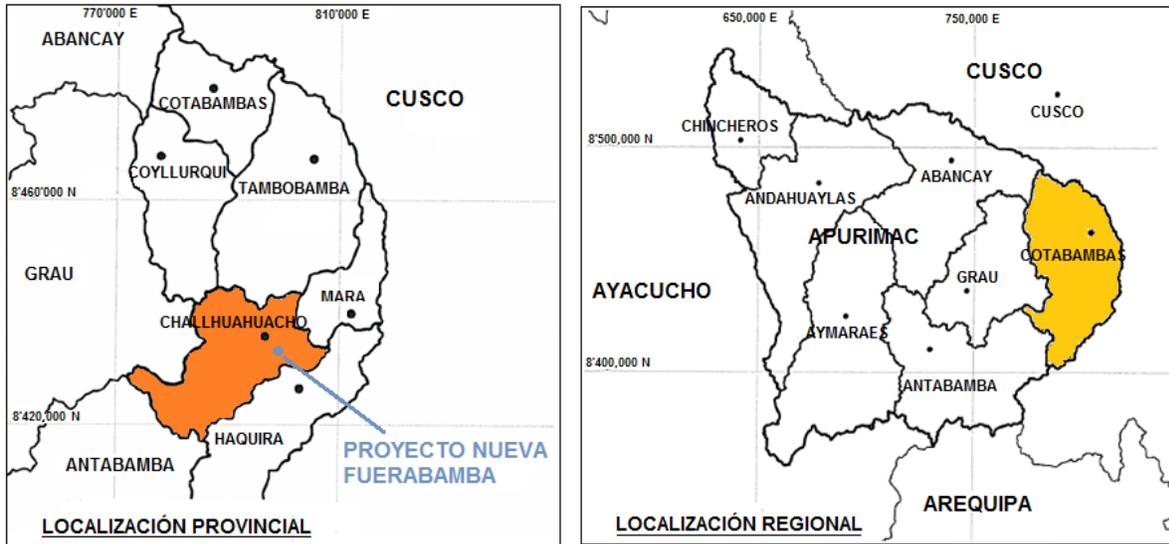
Para este fin la empresa minera compró dos terrenos en los lugares conocidos como Chila (Área total de 125.98 Ha) y Choaquere (Área total de 150.02 Ha), para ser destinados al reasentamiento de la comunidad y a su futura expansión, respectivamente. En la actualidad, la población de Fuerabamba es de 350 familias residentes y 70 familias retornantes.

3.2 UBICACIÓN

La construcción del área urbana del Proyecto abarca un área de 125.98 Ha, ubicada en Chila, distrito de Challhuahuacho, Provincia de Cotabambas, en la Región Apurímac, al sur del Perú. Se encuentra entre las comunidades campesinas de Chila y Choaquere, a una distancia aproximada de 250 km al sur oeste del Cusco, ciudad importante más cercana. Su distancia al Proyecto Minero al cual se encuentra relacionado es de 15 km al sur.

La nueva ciudad se localiza en el área que corresponde al Valle del Río Chila, en la quebrada de Yuracmayo, específicamente en la ladera este. Se sitúa a una altura promedio de 3850 msnm, en la Cordillera de Los Andes. Geográficamente, se ubica en las coordenadas UTM Este: 799 400 – 800 500m, Norte: 8 437 600 – 8 438 900 m, en la Zona 18 Sur – Datum Horizontal WGS84. A continuación se muestra el Mapa Regional y Provincial de la ubicación del Proyecto:

Figura 3.1. Mapa regional y provincial de ubicación del proyecto



Fuente: Obra 1728 – GyM S. A.

3.3 VÍAS DE ACCESO

Al Proyecto en estudio se puede acceder desde Lima por medio de dos rutas. Una es por vía aérea o terrestre Lima – Cusco para luego seguir el viaje por carretera Cusco – Anta – Cotabambas – Tambobamba – Challhuahuacho con un recorrido de 289 km en un tiempo estimado de 8 horas. El tramo Cusco – Anta es asfaltado y es parte de la Carretera Longitudinal de la Sierra Sur PE-3S, mientras que el resto de la ruta es afirmada y es parte del ramal F ruta AP-611.

El otro acceso se realiza íntegramente por tierra mediante la carretera asfaltada Lima – Nazca – Puquio – Abancay, para lo cual debe seguirse un desvío afirmado antes de llegar a Abancay que conduce a Cotabambas para finalmente llegar al distrito de Challhuahuacho.

Cabe resaltar que la ruta usada tanto para la movilización de personal de Lima como para el abastecimiento de equipos y materiales es la primera. Usando cualquiera de ambas rutas, luego de haber llegado a Challhuahuacho, se accede al Proyecto por medio del tramo afirmado de la vía Challhuahuacho – Haquira. Este tramo es parte del eje vial departamental Apurímac – Arequipa, ruta N° 116. Este recorrido final dura aproximadamente 20 minutos.

3.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA

El clima típico durante todo el año es templado frío lo que corresponde al clima de puna seco donde las temperaturas del ambiente fluctúan abruptamente durante el día de 21°C cayendo a 5°C en la noche. En época de helada, la temperatura desciende aún más, registrándose hasta -10°C, por lo que son usuales las granizadas y nevadas.

Es frecuente en esta región la fuerte radiación solar de 500 – 900 W/m², entre las 8 y 15 horas del día, aunque las temperaturas sean bajas. Presenta además una humedad relativa promedio de 75% y velocidad de viento promedio de 4.4 m/s. La época de lluvias se presenta durante los meses de Diciembre a Abril donde las precipitaciones son intensas.

Respecto a la topografía, el desarrollo del valle donde se ubica el proyecto se da de manera longitudinal y regular con pendientes uniformes que van desde 0% hasta 30%. Sin embargo, los alrededores se caracterizan por mostrar una superficie más accidentada.

3.5 MEMORIA DESCRIPTIVA

3.5.1 Habilitación Urbana

El proyecto de habilitación urbana comprende el reasentamiento de 441 viviendas unifamiliares en el área ubicada en Chila (Sector Norte): 102 lotes de 250 m² y 339 lotes de 500 m². El tipo de lote de 250 m² son para los tipos de vivienda 1R y 2R destinadas para las familias retornantes, y el tipo de lote de 500 m² son para los tipos de vivienda 2A, 2B, 2C, 3A y 3B destinadas para las familias residentes.

El área situada en Choaquere (Sector Sur) se ha considerado para expansión urbana, ubicación del equipamiento complementario, relleno sanitario y cementerio, según el Planeamiento Integral de la habilitación urbana, el cual incluye la red de vías y los usos de la totalidad del suelo por ser un predio no habilitado. Estos dos sectores forman en conjunto este nuevo asentamiento.

El arreglo urbano corresponde a una habilitación urbana tipo 2, residencial de densidad baja (RDB), con construcción simultánea de los siete tipos de viviendas para las dos áreas de lotes, considerando áreas y frentes mínimos de lotes según la normatividad del Título II del RNE. La densidad neta promedio es de 115 Hab/Ha.

La distribución de la ciudad ha sido diseñada y adecuada a la normatividad peruana y aprobada por la comunidad de Fuerabamba. Para el inicio del proyecto ha sido necesario el certificado de zonificación y vías, certificado de inexistencia de restos arqueológicos, estudios de impacto ambiental del reasentamiento, estudios hidrológicos del río Yuracmayo y estudios geotécnicos.

La habilitación urbana se ha desarrollado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Nacional de Edificaciones del 2006 (Norma Técnica de Habilitaciones Urbanas Título II, GH.010, GH.020 – Componentes de Diseño Urbano, Norma TH.010 – Habilitaciones Residenciales), NTE U190 Adecuación urbanística para personas con discapacidad – RM N° 069-2001-MTC, y complementariamente se ha considerado el Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano (Decreto Supremo N° 004-2011-Vivienda).

3.5.1.1 Arreglo general de la ciudad

La distribución de las edificaciones y de los equipamientos es el resultado más eficiente de accesibilidad, sustentabilidad y ambiente adecuado para los habitantes. Se ha desarrollado con una configuración predominantemente lineal siguiendo la orientación principal del terreno de norte – sur lo que permite que la ciudad al localizarse sobre la ladera oeste del valle reciba el sol por la mañana y parte de la tarde.

Los equipamientos que proporcionan servicios a los sectores residenciales corresponden a la tipología de habilitación convencional residencial. Sin embargo; al ser un reasentamiento de toda una comunidad son necesarias otras edificaciones como iglesias, local comunal, museo, entre otros. Adicionalmente, se consideró que cada vivienda estuviera a una distancia máxima de 300m de los espacios de recreación pública, lo que aporta en la determinación de la arquitectura de la ciudad.

Por encontrarse en una zona de frío extremo, la orientación de las edificaciones ha sido importante. Esta es dispuesta de tal forma que la fachada más larga y los recintos de mayor tiempo estén orientados al norte. Con esto se logra una mejora en la obtención de calor elevando la temperatura interior de las viviendas de forma pasiva lo que mejora la sensación térmica.

Las 441 viviendas y el equipamiento urbano se han agrupado en 48 manzanas. A continuación mostramos el Cuadro de Áreas de la zonificación urbana del Proyecto.

Tabla 3.1. Cuadro de Áreas - Zonificación

Zonificación Urbana – Usos del Suelo y Áreas			Área ocupada (Ha)	% del Área Total
Vivienda	RDB	Residencial densidad baja (441 lotes)	20.19	36.77%
		Reserva para viviendas (16 lotes) (RV)		
Equipamientos	CC	Comercio central: mercado de abastos	0.26	6.55%
	E	Educación: I.E Cuna, C.E. Inicial, I.E. Primaria y Secundaria, centro de capacitación comunal, reserva de equipamiento educativo.	1.99	
	S	Salud: centro de Salud – Minsa	0.39	
	SC	Servicios comunales: salón comunal, puesto policial, taller, tienda de artesanía, sala de exposiciones.	0.11	
	OU	Otros usos: iglesias, museo, paradero de buses – terminal.	0.84	
Espacios Públicos	ZR	Zona de recreación: plaza principal, parques	4.39	31.78%
	PZ	Parque zonal	1.1	
		Área verde – Recreación complementaria (zonas de talud entre lotes, bandejón central, jardines)	11.96	
Servicios Públicos		Estación de generación eléctrica, planta de tratamiento de agua (PTAP) y desagüe (PTAR), reservorio de agua, estación de bombeo.	0.03	0.05%
Vías		Vía principal y secundarias.	13.65	24.86%
Total			54.92	100.00%

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Para la habilitación urbana se han establecido los siguientes aportes para el proyecto según las normas generales del RNE:

Tabla 3.2. Cuadro comparativo de aportes normativos y del proyecto

Aportes	N° de lotes	RNE		Proyecto	
		Área (m2)	%	Área (m2)	%
Área a habilitar	-	549,192.57	100.00	549,192.57	100.00
Área aportes	-	71,395.03	13.00	91,169.24	16.60
Educación	5 lotes	10,983.85	2.00	19,926.51	3.63
Recreación pública	-	43,935.41	8.00	43,935.42	8.00
Parque zonal	-	10,983.85	2.00	10,996.42	2.00
Otros fines	13 lotes	5,491.93	1.00	16,310.89	2.97

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

3.5.1.2 Espacios urbanos

Necesarios para el desarrollo de la comunidad. Se describen a continuación:

- *Plaza Principal.* En sus alrededores se encuentran los principales equipamientos urbanos como toda ciudad. Permitirá el desarrollo de diversas actividades cívicas y culturales. Comprende un área de 1,148m².
- *Alameda Central.* Constituye una secuencia de espacios urbanos de conexión, accesibilidad y recreación ubicados en el bandejón central longitudinal de la avenida principal proyectada. Tiene una longitud de 1450m con un ancho promedio de 50m.
- *Parques de Barrio y Parque Zonal.* Se cuenta con un total de 11 parques de barrios. El Parque Zonal es el de mayor extensión comprendiendo un área de 10,996m² y se ubica en el borde oriente de la ciudad.

3.5.1.3 Viabilidad

El sistema vial de la habilitación urbana está compuesto por una estructura de vías jerarquizadas de acuerdo al tipo de habilitación residencial (RNE-GH20). El ingreso – salida a la ciudad se realizará por las rotondas ubicados en el extremos norte y sur. Además se cuenta con una vía de evitamiento de 6.60 m de ancho fuera de la ciudad. La clasificación de vías es la siguiente:

- *Vial local principal.* Estructura funcional de la ciudad. Permitirá el desplazamiento vehicular de un extremo a otro. Consta de veredas, estacionamientos y de la Alameda Central. Su ancho varía desde 36.00 m hasta 74.50 m.
- *Vías locales secundarias paralelas y transversales a la vía principal.*
- *Vía local secundaria de borde:* Ubicada entre las viviendas del sector oeste y el talud de corte.

3.5.2 Viviendas

3.5.2.1 Arquitectura

Se ha desarrollado de acuerdo a las reglamentaciones vigentes así como a las necesidades y requisitos establecidos por la población determinándose siete tipos de viviendas. La altura de todos los ambientes es 2.30m de nivel de piso a fondo de losa.

Viviendas 2A, 2B, 2C, 3A y 3B

Destinadas a albergar a cinco personas de forma permanente y a cuatro invitados eventuales. Ubicadas en lotes de 500.00 m² constan de 248.00 m² de área construida (sin considerar balcones ni terrazas) distribuida en tres niveles.

En el primer nivel se cuenta con un área comercial conformada por una tienda con acceso directo desde la calle, un área social determinada por la sala, el comedor, una cocina convencional y una cocina mejorada (en el caso de los tipos 2C, 3A y 3B la cocina mejorada se encuentra incluida en la cocina convencional). Se cuenta también con un baño y en los tipos 2A y 3B con un dormitorio. Además consta de un jardín trasero donde se encuentra el invernadero y el depósito. La escalera se ubica entre el área comercial y el área social.

El segundo nivel es destinado para el área íntima familiar, la cual está compuesta por cuatro habitaciones y dos baños (excepto en el tipo de vivienda 2A que consta de uno solo). Además el tipo 2B y 3B cuentan con una sala de estar y una terraza, respectivamente.

El tercer y último nivel conforma el área para los invitados y está compuesta por cuatro habitaciones y dos baños en los tipos 2B, 2C y 3A, y por tres habitaciones y un baño en los tipos 2A y 3B. Adicionalmente, los tipos 2A y 2B cuentan con una terraza y una sala de estar, respectivamente.

Tabla 3.3. Distribución de Ambientes y Áreas en lotes de 500.00 m²

Descripción	Tipos de Vivienda				
	2A	2B	2C	3A	3B
Primer Piso					
Sala	15.40	14.14	13.00	14.63	13.81
Comedor	15.23	12.19	15.11	13.61	13.69
Cocina convencional	9.63	11.59	15.30	13.81	11.34
Cocina mejorada	6.54	6.11	-	-	-
SSHH 1	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
Estar	-	6.56	-	-	-
Dormitorio 1	11.84	-	-	-	14.11
Tienda	11.78	11.84	18.69	17.39	16.58
Invernadero	13.86	13.86	13.86	13.86	13.86

Segundo Piso					
Dormitorio 1	11.78	10.89	14.46	14.63	13.59
Dormitorio 2	11.84	12.19	13.00	14.40	14.11
Dormitorio 3	15.40	11.20	14.21	13.81	13.00
Dormitorio 4	16.51	11.84	11.70	12.91	13.10
Estar	-	6.56	-	-	-
SSHH 1	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
SSHH 2	-	2.64	2.64	2.64	2.64
Terraza	-	-	-	-	12.77
Balcones	9.76 (4und)	1.62 (1und)	3.24 (2und)	-	-
Tercer Piso					
Dormitorio 1	11.78	10.89	14.46	14.63	14.95
Dormitorio 2	11.29	12.19	13.00	14.40	14.11
Dormitorio 3	16.51	11.20	14.21	13.81	16.73
Dormitorio 4	-	11.84	11.70	12.91	-
Estar	-	6.56	-	-	-
SSHH 1	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
SSHH 2	-	2.64	2.64	2.64	-
Terraza	16.51	-	-	-	-
Balcones	6.08 (3und)	-	3.24 (2und)	-	-
Sub Total (m2)	174.59	180.99	182.04	184.13	179.67
Circulación y muros (m2)	73.41	67.01	65.96	63.87	68.33
Área Techada (m2)	248.00	248.00	248.00	248.00	248.00
Cantidad de Viviendas	217	4	32	2	84
Área Techada total (m2)	53816.00	992.00	7936.00	496.00	20832.00
Área techada total en lotes de 500 m2					84,072.00 m2

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Viviendas 1R y 2R

Destinadas a albergar a cinco personas de forma permanente. Ubicadas en lotes de 250.00 m2 constan de 115.00 m2 de área construida (sin considerar balcones ni terrazas) distribuida en dos niveles.

En el primer nivel, desde el ingreso se accede al área social determinada por la sala, la cocina – comedor convencional. Se cuenta con un baño y en el tipo 1R con un dormitorio. Además consta de un jardín trasero. La escalera relaciona los dos niveles de la vivienda.

El segundo nivel es destinado para el área íntima familiar, la cual está compuesta por dos habitaciones para el tipo 1R y tres habitaciones para el tipo 2R, un baño y una terraza.

Tabla 3.4. Distribución de Ambientes y Áreas en lotes de 250.00 m²

Descripción	Tipos de Vivienda	
	1R	2R
Primer Piso		
Sala	13.74	14.36
Comedor	6.37	12.33
Cocina	7.04	9.43
SSH 1	2.64	2.64
Dormitorio 1	12.00	-
Segundo Piso		
Dormitorio 1	12.00	14.45
Dormitorio 2	13.07	10.35
Dormitorio 3	-	10.35
SSH 1	2.64	2.64
Terraza	14.74	-
Sub Total (m ²)	84.22	76.54
Circulación y muros (m ²)	30.78	38.46
Área Techada (m ²)	115.00	115.00
Cantidad de viviendas	59	43
Área Techada Total (m ²)	6785.00	4945.00
Área Techada Total en lotes de 250 m ²	11,730.00 m ²	

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Todas las viviendas cuentan con un espacio destinado al estacionamiento vehicular al interior del lote y un cerco frontal.

Respecto a las facilidades se cuentan con redes de agua fría y caliente tanto para duchas y lavatorios de baños, para lo cual se usan calentadores tipo calefactor solar simple. Se cuenta también con instalaciones eléctricas de alumbrado, salidas para tomacorrientes y sistema de comunicación.

Los acabados establecidos en la arquitectura de las viviendas son los siguientes:

- *Techos:* Para los cielos rasos serán de pintura látex. El techo final estará dispuesto por una estructura metálica de dos aguas y pendiente de 40% con cobertura de plancha decorativa de fibrocemento tipo teja andina.
- *Muros:* En los muros interiores se emplearán como revestimiento papel mural; a excepción de la cocina, cocina mejorada y baños que serán acabados de pintura

látex lavable para lo cual previamente deben solaquearse. Este acabado debe darse también a los muros exteriores y cerco frontal del lote.

- *Pisos*: De vinílico $e=1.60\text{mm}$ para sala, comedor, estar y dormitorios. En baños de cerámico color blanco $30 \times 30 \text{ cm}$. En los demás ambientes el acabado es cemento pulido y para terrazas y balcones deberá ser además impermeabilizante.
- *Zócalos y contrazócalos*: En baños, cerámico color blanco $30 \times 30 \text{ cm}$, $h=1.80\text{m}$ en la cabina de la ducha y $h=0.10\text{m}$ en el resto. Para los demás ambientes rodón de madera bolaina blanca $3/4" \times 3/4"$. En exteriores del primer piso, terrazas y escaleras, cemento pulido de $h=0.60\text{m}$, 0.15m y 0.05m , respectivamente.
- *Carpintería de Puertas*: Puerta Metálica de 1 y 2 hojas tipo reja en garaje con pintura base epóxica y esmalte sintético. También puerta contraplacada de 1 hoja y puerta apanelada de 1 y 2 hojas de madera pino radiata.
- *Carpintería de ventanas*: Con sistema proyectante, insuladas o no, marco de aluminio y contramarco de madera. Vidrio primario incoloro.
- *Aparatos sanitarios*: Inodoro, lavatorio sin pedestal y kit de accesorios de losa blanca nacional.
- *Falso cielo*: Placa de yeso de $1/2"$ con lana de vidrio como aislante térmico y estructura galvanizada autoportante apoyada en muros o tijerales.

3.5.2.2 Estructuras

El diseño se ha realizado de acuerdo a los requerimientos del RNE Norma E.020 – Norma Técnica de Cargas, E.030 – De Diseño Sismorresistente, E.050 – De Suelos y Cimentaciones, E.060 – De Concreto Armado, E.070 – De Albañilería (para los cercos perimetrales) y E.090 – De Estructuras Metálicas (para la techumbre del último nivel).

La estructura está conformada por una cimentación del tipo platea para las viviendas y de cimiento corrido para los cercos. Al momento del diseño, el estudio de mecánica de suelos no estaba concluido ya que la mayor parte del plataformado de la ciudad se ubicaba en zona de corte por lo que se asumió conservadoramente una presión admisible no menor a 1.20 Kg/cm^2 y un coeficiente de balasto mínimo de 2.40 Kg/cm^3 . El espesor de la platea es de 200 mm con dientes dispuestos en todo el perímetro y en zonas debajo de los muros, con un peralte de 600 mm en caso el suelo sea blando (arcilla) y de 400 mm en caso el suelo sea duro (roca).

El sistema estructural consiste en losas y muros de concreto armado de ductilidad limitada. Se ha dispuesto muros interiores de 100 mm de espesor y muros exteriores dobles con una separación de 50 mm para el poliestireno expandido como aislante térmico, lo cual suma 250 mm en total. Los techos intermedios son losas macizas de 130 mm, a excepción de las terrazas las cuales son de 100 mm para poder colocar el aislante térmico. Las losas se apoyan en todos los muros, incluso en los muros perimetrales donde el aislante se ve interrumpido. Estos conforman el sistema portante para cargas de gravedad y solicitaciones horizontales. Como se nombró anteriormente el techo del último nivel consiste en una estructura tipo armadura metálica.

El diseño ha sido considerado para soportar cargas de gravedad, nieve, horizontales de viento y sismo, y cargas por efectos de cambios de temperatura. Los parámetros sismorresistentes para el cálculo de la aceleración espectral $S_a = ZUCSg/R$ fueron:

Tabla 3.5. Parámetros de Diseño Sismorresistente

Descripción	Valor
Factor de Zona (Z)	0.3
Factor de Uso de la Edificación (U)	1.0
Factor de Suelo (S)	1.2
Factor de Reducción de Fuerza Sísmica (R)	3

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

El factor de reducción para estructuras de ductilidad limitada es 4 pero por ser una estructura irregular se aplica el factor 0.75 lo que resulta en 3. De la fórmula anterior, C es 2.5 pues el periodo de la estructura es menor que $T_p = 0.6 \text{ seg}$ (para un suelo Tipo 2).

En el análisis estructural se consideró un comportamiento linealmente elástico de manera tridimensional. Para el diseño de los muros, estos se modelaron como elementos bidimensionales para lo cual las losas de los pisos intermedios se consideraron como diafragmas rígidos en su plano. El techo del último nivel al ser liviano no puede considerarse como un diafragma rígido por lo que su masa fue distribuida a los muros que lo cargan. El diseño de las losas se realizó mediante un modelo de elementos finitos para lo cual los muros se consideraron como apoyos simples sin deformación vertical. Finalmente, la platea para ser diseñada fue modelada también con elementos finitos tipo losa y el suelo con resortes cuya rigidez se obtiene en función del coeficiente de balasto.

El análisis sísmico se realizó mediante un análisis modal espectral con masas concentradas del modelo tridimensional de la estructura. Los desplazamientos y esfuerzos se han calculado para cada modo de vibración para luego aplicar superposición modal para cada valor según el método de la Combinación Cuadrática Completa (CQC). Estos resultados obtenidos se han escalado hasta alcanzar el 90% de los valores que se obtienen del análisis sísmico estático.

3.5.2.3 Instalaciones Sanitarias

Las instalaciones sanitarias de las viviendas comprenden el sistema de agua fría, agua caliente, desagüe y drenaje pluvial. Cabe nombrar que para el abastecimiento de agua potable a la ciudad se captarán las aguas del río cercano al Proyecto y para su tratamiento se contará con una planta ubicada sobre el nivel de la ciudad.

Red de agua fría

Cada vivienda contará con conexión domiciliaria y medidor de 3/4" ubicados en la vereda frontal de la vivienda. El sistema de abastecimiento de agua potable será directo de la red general de agua a la conexión domiciliaria, por lo que no se requiere de una cisterna en las edificaciones. Las tuberías de la red interior son de polipropileno de diámetro nominal de 32mm, 25mm y 20mm.

Red de agua caliente

El sistema de abastecimiento será directo sin retorno de flujo. Irá desde los calentadores solares hacia las duchas y lavatorios. Las tuberías son de polipropileno de diámetro nominal de 25mm y 20mm.

Red de desagüe y Sistema de Ventilación

El sistema de desagüe se desarrolla por gravedad, mediante tuberías de PVC de 2" y 4" de diámetro. La descarga de las aguas servidas del primer piso se da por medio de tuberías colectoras y la de los pisos superiores se da por medio de la tubería montante. Las aguas residuales son únicamente del tipo doméstico y luego de ser recolectadas descargarán a las cajas de registro ubicadas en las veredas de las viviendas para finalmente llegar al sistema de alcantarillado.

Mediante tuberías instaladas por los ductos de las viviendas se ventilará los puntos sanitarios para evitar la ruptura de sellos de agua, alzas de presión y malos olores.

Drenaje pluvial

Debido a las características de precipitación de la zona fue necesario un sistema drenaje pluvial mediante tuberías de PVC SAP con montantes 3" y canaletas 6". Las montantes se ubican de acuerdo a las orientaciones de techos y bajan adosadas a las paredes de las edificaciones para su descarga hacia áreas libres perimetrales.

3.5.2.4 Instalaciones Eléctricas

El diseño de las instalaciones eléctricas de las edificaciones residenciales ha sido desarrollado para abastecer de forma suficiente y segura a una vivienda unifamiliar. Su diseño abarca el cálculo de la demanda máxima, diseño del alumbrado y tomacorrientes, del tablero de distribución general y del pozo de puesta a tierra.

Para la ciudad, incluyendo infraestructura y viviendas tanto de la primera etapa en Chila como la segunda etapa en Choquere, se han establecido siguientes cargas totales:

Tabla 3.6. Potencia Instalada y Máxima Demanda del Proyecto

Descripción	Potencia Instalada (kW)	Máxima Demanda (kW)
Primera Etapa: Chila	1217	602
Segunda Etapa: Choquere	137	79
Total Sin Reserva	1355	680
Reserva (10%)	135	68
Total Con Reserva (10%)	1490 kW	748 kW

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

El suministro de energía con el cual contarán las viviendas es de voltaje nominal de 220V, frecuencia 60Hz y sistema 3F + Neutro/Tierra. Este proviene de las redes secundarias aéreas, que a su vez parten de las subestaciones de distribución de energía ubicados en distintos puntos de la ciudad. La empresa encargada del suministro de energía y de la instalación de las acometidas domiciliarias es Electro Sureste (ELSE).

La acometida domiciliaria comprende una caja portamedidor y medidor colocado en un murete de concreto, del sistema de protección y del conductor. Mediante tubería empotrada en el piso se alimenta al tablero de distribución general trifásico el cual estará conectado al pozo de puesta a tierra. Del tablero parte el conduit tipo PVC-P (resina termoplástica de policloruro de vinilo) y los cables eléctricos de cobre tipo TW, empotrados en pisos, paredes y techos para los circuitos de alumbrado y tomacorrientes.

3.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE VIVIENDAS

Las siguientes especificaciones técnicas abarcan únicamente a las edificaciones residenciales del proyecto. Por medio de ellas se establecen los requerimientos necesarios para asegurar la obtención de viviendas funcionales y seguras en el tiempo.

3.6.1 Arquitectura

Revoques y Revestimientos

El tarrajeo en exteriores y vestidura de derrames consiste en una capa de mortero de mezcla C:AF=1:5. En gradas y descansos el acabado será cemento pulido y semipulido color natural con una proporción C:AF=1:5. El solaqueo de elementos de concreto comprende la limpieza y resane con defectos superficiales el cual se realizará mediante una mezcla C:AF=1:5 o grout cementicio para darle un acabado liso para la pintura o papel mural.

El papel mural será dúplex tipo Gofrado, color beige con impresión y pegado con pasta Colormural. La pintura debe ser aplicada previo solaqueo, imprimación, empaste y lijado. Se empleará dos manos de pintura látex tipo Rocky de Vencedor para cielorrasos y látex lavable tipo American Colors para muros interiores y exteriores.

Cielorraso

Conformado por placas de yeso estándar, o resistente a la humedad para baños, de 1.22 x 2.44m x 1/2" recubierto con papel tipo Gyplac de Eternit, con estructura autosoportante de acero galvanizado. Sobre el cielorraso se contará con lana de fibra de vidrio como aislante termoacústico de baja densidad, de 13kg/m³, e=2.5", formando así la envolvente térmica de la vivienda; y con papel kraft asfaltado por una cara como barrera de vapor, modelo Aishogar de Owens Corning. Este cielorraso corresponde al último nivel de la vivienda donde se coloca la estructura metálica.

Pisos y pavimentos

En pisos de sala, comedor, dormitorios y corredores de circulación interna se usará baldosas de vinil Lamipak de Pisopak, acabado madera haya de 14.3 x 58.7cm y $e=1.60\text{mm}$. En baños, cerámico nacional color blanco tipo América de Celima pegado con adhesivo en polvo, dimensiones 0.30 x 0.30m y $e=7.5\text{mm}$, y junta de 5mm rellenos con fragua impermeable color blanco. En los demás ambientes el acabado para el piso será cemento frotachado y cemento pulido color natural, y en terrazas y balcones además será impermeabilizante, con juntas de dilatación de $e=5\text{mm}$ cada 3 a 4m en ambos sentidos.

Zócalos y contrazócalos

Los zócalos serán de cemento pulido para muros exteriores de $h=0.60\text{m}$, con mortero en proporción $C:AF=1:5$ y $e=10\text{mm}$, además presentarán juntas de dilatación de 5mm cada 3 a 4m. En la ducha del baño será de cerámico del mismo material del piso y $h=1.80\text{m}$.

Los contrazócalos serán de cemento pulido y de cerámico, y estarán dispuestos en las caras interiores de los muros, según ambientes, y tendrán las mismas especificaciones de los zócalos, a diferencia de las alturas, la cual es en todos los casos $h=0.10\text{m}$. En los espacios que lleven piso vinílico se usará rodón de madera bolaina blanca de 3/4" x 3/4".

Coberturas

La cobertura del techo del último nivel será de plancha decorativa de fibrocemento tipo teja andina de Eternit de dimensiones 1.14 x 0.72m, $e=5\text{mm}$ y peso 8.40kg, fijado sobre correas metálicas y sellado de tal forma de garantizar la hermeticidad del techo.

Carpintería de madera

Se usarán puertas contraplacadas tipo Mediterráneo de Ares, con planchas de fibra de madera de mediana densidad, $e=3\text{mm}$ y relleno interior de Honey Comb (Panal de Abeja) de $e=34\text{mm}$ tipo americano; y puertas apaneladas de madera pino radiata, tipo Nazca de Ares. El acabado para las puertas contraplacadas es pintura látex semi mate color blanco ostra tipo Rocky de Vencedor y para las puertas apaneladas laca a dos caras y barniz marino solo en la cara exterior.

El trabajo de carpintería incluye la instalación y suministro de los muebles fijos de cocina y closets. Estos constarán de planchas y perfiles de melamine de $e=18\text{mm}$.

Carpintería metálica y herrería

Para puertas del ingreso peatonal y vehicular del cerco perimétrico, y barandas se usarán elementos de fierro. La base será dos manos de pintura epóxica y el acabado dos manos de esmalte sintético Vencenamél de Vencelatex, color Roble 803.

Todas las ventanas son proyectantes con marco de aluminio, vidrio primario incoloro e insuladas, con doble vidrio de $e=4\text{mm}$ separado por una capa de aire de $e=0.012\text{m}$, evitando así que estos vanos se conviertan en puentes térmicos; las dimensiones para estos ambientes es de $1.20 \times 1.20\text{m}$. Como excepción, los baños llevarán ventanas proyectantes no insuladas de $0.60 \times 0.60\text{m}$ pero manteniendo las demás características.

Aparatos y accesorios sanitarios

Los aparatos y accesorios sanitarios son de losa blanca vitrificada, siendo el inodoro modelo Compac y el lavatorio modelo Máncora sin pedestal de la marca Trébol. El lavadero es de acero inoxidable acabado satinado, de una poza con escurridor. Toda la grifería es de bronce cromado.

3.6.2 Estructuras

Elementos de concreto simple

Abarca los elementos que no llevan acero de refuerzo. El solado es el único elemento del casco estructural de este material y al no estar sometido a condiciones de áreas expuestas, el criterio de diseño de la mezcla es por resistencia para lo cual se utiliza una relación agua/cemento igual a 0.50.

- *Solado:* Concreto premezclado de $f'c=100\text{ kg/cm}^2$, cemento Yura Tipo I, slump de $2\frac{1}{2}''$ a $4''$, agregado grueso Huso 57 y 5% de aire incorporado.

Elementos de concreto armado

Abarca los elementos estructurales de concreto que son reforzados con acero. Ya que el concreto está sometido a condiciones de áreas expuestas, el criterio de diseño de la mezcla es por durabilidad para lo cual se utiliza una relación agua/cemento igual a 0.45.

- *Plataea:* Concreto premezclado de $f'c=280\text{ kg/cm}^2$, cemento Yura Tipo I, slump de $2\frac{1}{2}''$ a $4''$, agregado grueso Huso 57 y 5% de aire incorporado.

- *Muros, losas y escaleras*: Concreto premezclado de $f'c=280$ kg/cm², cemento Yura Tipo I, slump de 6" a 8", agregado grueso Huso 67 y 5% de aire incorporado.

Durante y luego del vaciado se debe compactar el concreto mediante un vibrador. La temperatura ambiente mínima de vaciado será 5°C y debe mantenerse el concreto a esta temperatura como mínimo, siendo necesario aislar y calentar el ambiente por lo menos 3 días, o que el concreto haya desarrollado 35 kg/cm², lo que suceda primero.

Tan pronto como sea posible, el curado debe iniciarse. Para concretos de alta resistencia inicial el curado debe realizarse como mínimo por tres días, y para los demás tipos por siete días, siendo en ambos casos la temperatura mínima de curado 10°C. Puede realizarse curado con agua, debiendo tener especial cuidado por el clima frío; con curador químico no parafínico, para aquellas superficies que no serán revestidas con concreto o mortero adicional porque reduce la adherencia; o con lámina de polietileno, evitando así la pérdida de humedad.

Encofrado

El encofrado usado en la platea de cimentación es de madera tornillo colocado únicamente en su borde, consiste en planchas, tablas, muertos, entre otros elementos. En muros, losas y escaleras el encofrado empleado es de planchas de aluminio de la marca Formaletas S.A. (Forsa). Este encofrado es modular lo que estandariza la construcción de viviendas de producción masiva. Está formado por corbatas, formaletas, entre otros.

Acero de refuerzo

El acero debe estar libre de escamas de laminado, escamas de óxidos y contaminantes que reduzcan la adherencia. El refuerzo de los elementos consiste en mallas electrosoldadas Q214 (de cocada cuadrada de 150mm y diámetro de las varillas de 6.4mm) y Q257 (de cocada cuadrada de 120mm y diámetro de las varillas de 6.2mm) ambas como refuerzo principal, más acero de 8mm y 1/2" de diámetro como bastones, refuerzo especial o de sostenimiento.

Respecto a las propiedades de resistencia se especifica que el acero corrugado es de Grado 60 de $f_y=4200$ kg/cm², mientras que las mallas electrosoldadas de acero corrugado de $f_y=5000$ kg/cm². Las barras embebidas parcialmente en concreto no serán dobladas por lo que no se acepta redoblado del acero.

Aislante térmico

Para los muros de las edificaciones el aislante térmico es poliestireno expandido de baja densidad, específicamente de 18 kg/m³. Su espesor es 5 cm y posee un coeficiente de conductividad térmica de 0.0326 W/m-K.

3.6.3 Instalaciones Sanitarias

El suministro de agua a la vivienda deberá contar con una presión entre 20 y 50m de columna de agua, permitiendo abastecer de forma directa a una vivienda de hasta tres pisos. La caja portamedidor será prefabricada de concreto y el medidor será del tipo chorro múltiple de velocidad de 3/4". Se cuenta además con válvulas, registros y caja de registro ubicados adecuadamente.

Tuberías y accesorios para agua fría.

Serán de polipropileno copolímero random PPR-100 PN Clase 10, con unión mediante proceso de termofusión, para diámetros entre 1/2" y 1", con accesorios de polipropileno. Este tipo de unión por termofusión no requiere de aditamentos especiales para conferir hermeticidad. Los empalmes entre la red interior y los aparatos sanitarios serán por medio de conexiones roscadas con inserto metálicos.

Tuberías, accesorios y equipos para agua caliente.

Serán de polipropileno copolímero random PPR-100 PN Clase 16, con unión mediante proceso de termofusión, para diámetros entre 1/2" y 3/4", con accesorios de polipropileno. Se usarán calentadores solares de tubos al vacío por ser los más eficientes. Debido a las épocas de mínima radiación se sugiere el uso de un sistema dual energía solar – eléctrica para asegurar el abastecimiento. Para las viviendas de dos pisos los calentadores tendrán una capacidad de 150 litros, mientras que para las viviendas de tres pisos estos serán de 200 litros.

Tuberías y accesorios para desagüe, ventilación y drenaje.

Para el sistema de desagüe, ventilación y drenaje las tuberías serán de PVC tipo pesado de diámetros 2" y 4" para los dos primeros, y de 3" y 6" para el último, con uniones tipo embone sellados mediante pegamento. Los accesorios serán de PVC fabricados por inyección, con el mismo tipo de unión.

Pruebas

En el caso las tuberías de agua fría y caliente debe llenarse la tubería con agua a presión igual a una vez la presión nominal y durante una hora no deben producirse descensos en el manómetro. Para las tuberías de desagüe, estas deben llenarse con agua y luego de 24 horas no debe haberse producido descensos ni exudaciones.

3.6.4 Instalaciones Eléctricas

Conductores.

De baja tensión de cobre electrolítico recocido, sólido, con aislamiento de PVC (cloruro de polivinilo), flexible. Tensión de servicio de 450/750V, Tipo TW-80, calibre 2.5mm² para alumbrado y 4mm² para tomacorrientes.

Conductos y vías de cableado.

Conduit y accesorios de PVC-P (resina termoplástica de policloruro de vinilo) no plastificado, rígido y resistente; para alumbrado y tomacorrientes de 20mm Ø. Las cajas de paso para las salidas de los sistemas considerados serán de una sola pieza de fierro galvanizado en caliente del tipo pesado americano.

Tomacorrientes e interruptores.

Los tomacorrientes son del tipo dado intercambiable, doble, bipolar con toma a tierra, para 10A, 250V, color marfil. Los interruptores son unipolares, simples, dobles, triples o de conmutación, para 10A, 250V, color marfil.

Puesta a tierra.

El conductor es de cobre del tipo desnudo, cableado y recocido de 10mm². El electrodo consiste en una varilla de acero revestida con una capa de cobre electrolítico recocido de 20mm Ø y 2.40m de longitud.

Tablero de distribución.

Diseñados para un sistema 380/220 VAC, trifásico (3F+N+T). Para empotrar en pared de concreto, tipo riel din, para servicio interior, con frente muerto, en material termoplástico.

4. PLANEAMIENTO DE OBRA

4.1 GENERALIDADES

De acuerdo a experiencias y resultados obtenidos por diferentes contratistas, el planeamiento es considerado por muchos como la etapa más importante de un proyecto de construcción. En esta etapa se obtiene principalmente el cronograma general, el cronograma de recursos, el presupuesto, la organización de obra, entre otros.

La falta de previsión de materiales, procesos, así como incompatibilidades en los planos, entre otros, son factores que conllevan a un retraso en la ejecución de una obra luego de que esta ha iniciado. Si estas posibles falencias se detectan y analizan en el planeamiento, podrían corregirse con mayor facilidad a un menor impacto, sin causar incrementos presupuestales o retrasos que afecten la continuidad de los flujos de producción.

El proyecto en estudio tiene muchas características que lo hacen especial y diferente a la mayoría de obras de construcción de viviendas masivas. Aspectos como la ubicación, factores climáticos y el transporte son tomados en cuenta al momento de realizar el planeamiento y cada uno de estos representa un campo de análisis que debe ser tratado con detalle para evitar la mayor cantidad de imprevistos que puedan surgir durante la realización del proyecto.

La ejecución de esta obra se realiza sobre la modalidad contractual de Ingeniería, Procura y Construcción (EPC por sus siglas en inglés). Esto hace que cada una de las tres especialidades sea planificada, desarrollada y ejecutada por el contratista. Así, se establecen hitos para cada una de ellas y sus áreas de trabajo, las cuales pueden modificarse durante la ejecución del proyecto si las causas se dan respetando el marco contractual.

Para el desarrollo de la obra, esta se dividió en dos etapas. La primera etapa abarca la construcción de 206 viviendas mientras que la segunda etapa comprende la construcción de las restantes 231 viviendas y del equipamiento de la ciudad. Al mismo tiempo, la primera etapa se dividió en tres frentes de producción: Movimiento de Tierras, Habilitación Urbana y Viviendas; los cuales pudieron ser tratados con mayor detalle por los ingenieros

encargados. Esto también fue útil al desarrollar el presupuesto de la obra y durante su ejecución, ya que se facilitó el control de actividades e hitos.

4.2 ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

Una obra de construcción requiere estar organizada por áreas, las cuales permiten dividir el trabajo de acuerdo al tema o especialidad con el fin de realizarlo de forma ordenada, cumpliendo con las solicitudes y expectativas del cliente para alcanzar los objetivos de alcance, costo y plazo.

Debido a la magnitud de la obra y a la modalidad del contrato (EPC), en la organización no solo se cuenta con el área de producción encargada de la construcción sino que áreas como logística y gerencia de contratos son trascendentales, permitiendo todas llevar un manejo adecuado del proyecto. De forma similar, se requiere de forma permanente en la obra el área de ingeniería.

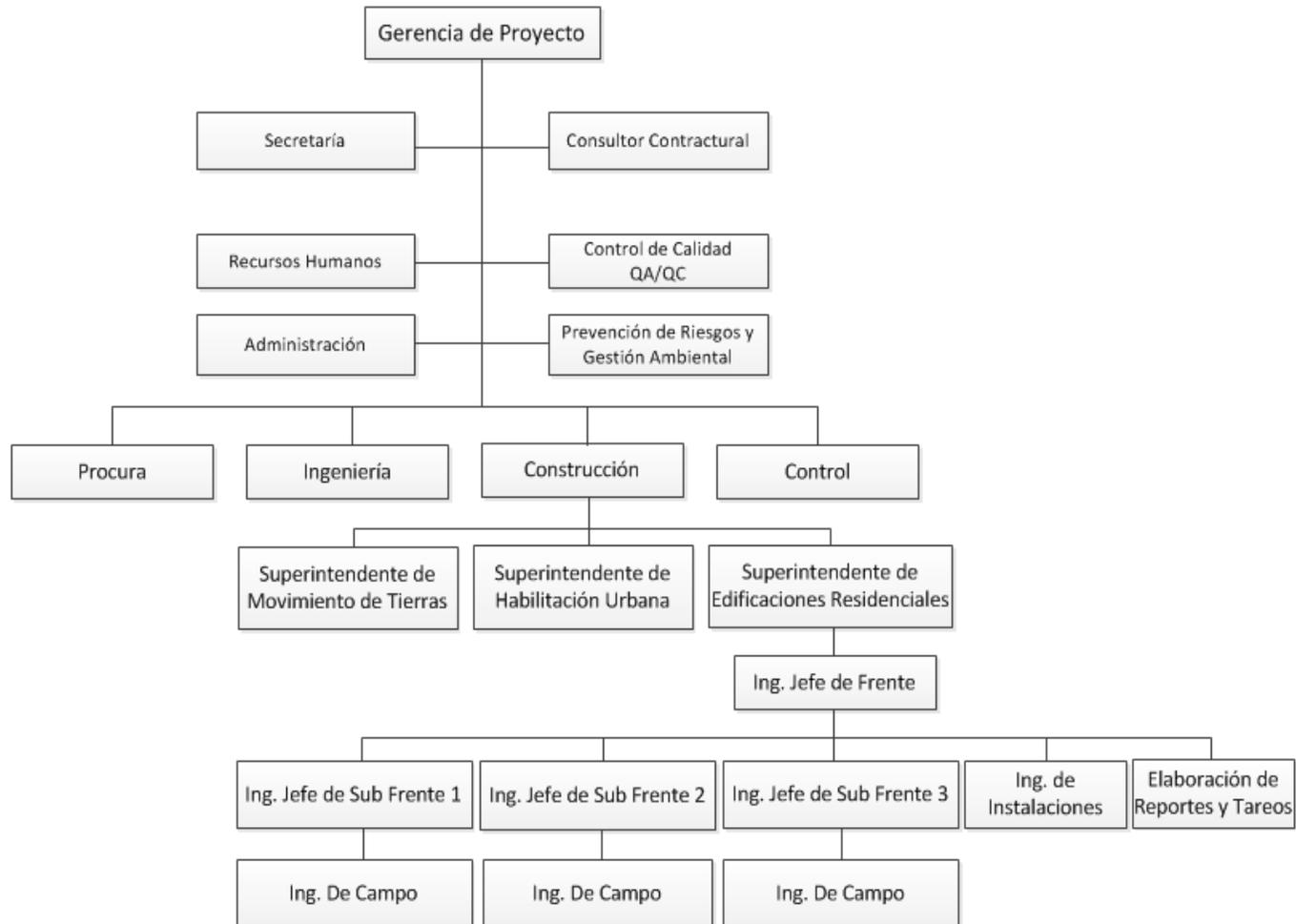
Cada área del proyecto cuenta con un equipo de personas liderado por un responsable, quien es el encargado de dirigir y orientar las acciones de su equipo, y al mismo tiempo son los que comunican los requerimientos y el estado actual de sus áreas ante la reunión semanal del proyecto. En la Figura 4.1 se presenta el organigrama de la primera etapa del proyecto dividido por áreas; únicamente, la Superintendencia de Viviendas ha sido detallada. Cada personal ingeniero y administrativo de la obra cuenta con su relevo por el régimen de trabajo de 14 días de trabajo por 7 días de descanso.

4.3 PLAZO DE EJECUCIÓN

El plazo inicialmente programado para la culminación del proyecto se ha ido modificando en el transcurso de la obra debido a retrasos, restricciones o incidentes propios de un proyecto en construcción.

De acuerdo al Plan Master Schedule (PMS) de agosto de 2012 del proyecto, el plazo de ejecución es de 936 días calendario a partir del 06 de diciembre de 2010, fecha de inicio. Con esta duración, el fin del proyecto está programado para el 25 de setiembre de 2013, lo cual incluye la puesta en marcha de los servicios e instalaciones de la ciudad. Es importante señalar que si el plazo de ejecución de la obra es modificado, las fechas de los hitos planteados pueden variar. En la Tabla 4.1, se presenta un resumen de los principales hitos en el proyecto junto a su tiempo de duración, fecha de inicio y de fin.

Figura 4.1. Organigrama del proyecto



Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Tabla 4.1. Hitos del Proyecto – Agosto de 2012

Área del Proyecto	Duración (Días)	Inicio	Fin
Procura	667	15 dic 2010	05 ene 2013
Movimiento de Tierras	744	15 ene 2011	21 abr 2013
Ingeniería	232	26 sep 2011	13 jun 2012
Contratos	323	24 nov 2011	11 nov 2012
Edificaciones Residenciales	580	08 dic 2011	23 ago 2013
Habilitación Urbana	263	01 oct 2012	04 jul 2013
Infraestructura	206	23 nov 2012	28 jun 2013
Edificaciones No Residenciales	197	10 mar 2013	25 sep 2013

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A

4.4 PROGRAMACIÓN

La programación en la construcción es la proyección a detalle de las actividades a realizar y, a diferencia del planeamiento, se hace de forma paralela a la ejecución de la obra. La programación permite observar un horizonte más pequeño el cual es analizado tomando en cuenta los recursos necesarios para crear una lista de actividades ordenadas a realizarse en el corto y mediano plazo.

Existen métodos para poder llevar una programación exitosa en una obra de construcción, pero uno de los que más acogida y reconocimiento ha tenido es el relacionado al *Last Planner System*, en el cual se utilizan herramientas como el *Lookahead Planning*, Análisis de restricciones, Plan Diario, Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) y Causas de Incumplimiento (CI). Este sistema es el utilizado en el Proyecto y, actualmente, GyM lo pone en práctica en sus obras debido a la eficacia demostrada en experiencias pasadas. La ventaja que otorga la utilización de este sistema es que además de lograr una programación detallada en un horizonte de tiempo adecuado, permite llevar un control diario para medir la confiabilidad de lo programado, identificar falencias y así poder realizar una retroalimentación.

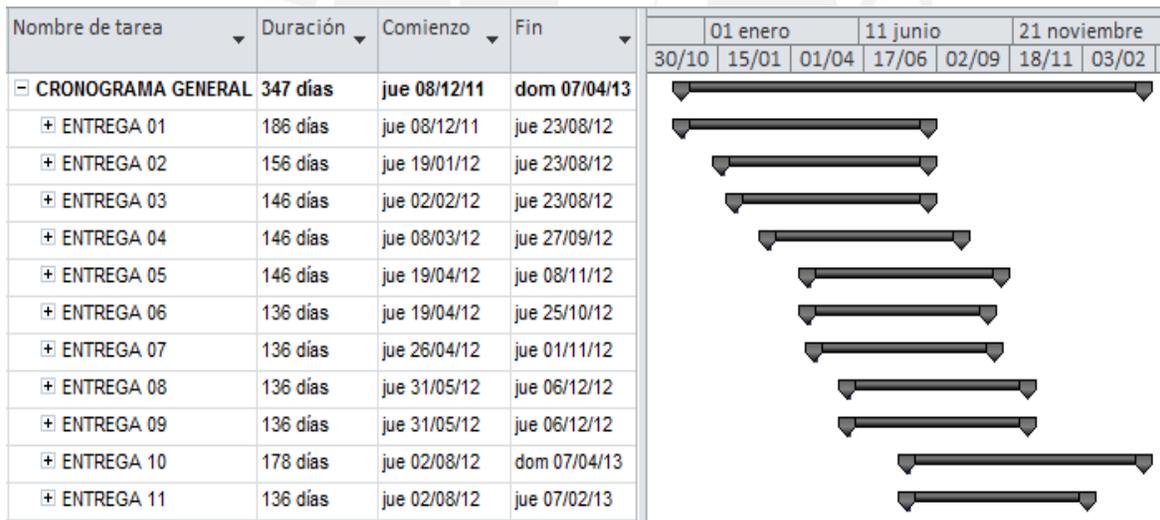
A continuación, se presentan los principales componentes del sistema *Last Planner* que se utilizaron en la obra para la programación de actividades de todos los frentes de trabajo.

4.4.1 Plan Maestro

Es un cronograma general de los trabajos a realizarse durante toda la obra, definido por hitos de inicio y término correspondiente a entregas, y se usa como punto de partida para aplicar el sistema Last Planner. Este cronograma se realiza en la etapa de planeamiento y no contiene detalle sobre las actividades.

Uno de los objetivos del plan maestro es ver el proyecto de forma global para analizar las externalidades de este, las cuales no se encuentran dentro de las actividades de trabajo pero que son importantes para la continuidad de los flujos. Un resumen del plan para la construcción de las viviendas se encuentra en la Figura 4.2, en el cual se muestran las fechas de inicio y fin por Entregas al cliente de la Primera Etapa del proyecto, donde cada Entrega agrupa cierta cantidad de viviendas construidas. Dichas Entregas están señaladas en el Plano N° 01.

Figura 4.2. Cronograma general



4.4.2 Look Ahead Planning y Análisis de Restricciones

El Look Ahead Planning es el programa realizado para un mediano plazo que puede variar entre 4 a 6 semanas dependiendo de las características de una obra. Para elaborarlo, se parte del cronograma general; con esto, se detalla las actividades a realizar en las próximas semanas. Para que las actividades se puedan ejecutar sin inconvenientes se elabora el Análisis de Restricciones con el fin de detectar los recursos necesarios para llevar a cabo los procesos de producción.

En el Proyecto, se utilizó un horizonte de seis semanas debido al tiempo promedio que demoraba levantar las restricciones identificadas. Para elegir este plazo, en el caso de pedido de materiales, se tomó en cuenta el tiempo que implica el requerimiento, compra y transporte a la obra de los recursos solicitados.

En la Tabla 4.2 se muestra el Look Ahead de las semanas 29 a 34 para uno de los tres sub frentes de trabajo en los que fue dividido el frente de producción Viviendas. En este, se encuentran las actividades necesarias para la construcción del casco estructural desde el perfilado del terreno hasta el vaciado de muros y losa. Dichas actividades se encuentran ordenadas de acuerdo al tren de trabajo del proceso constructivo.

Se observa en el Look Ahead que existe un espacio vacío entre las semanas 31 y 32 desde las actividades de perfilado del terreno hasta vaciado de plateas. Esto es para equilibrar la producción de plateas, ya que si se mantiene este ritmo se producirían muchas más plateas que viviendas terminadas por lo que se reasignan los recursos. Otro aspecto a señalar es que entre las semanas 30 y 31 se toma un día de movilización desde la partida “Aceros en muros” hasta la partida “Vaciado de losas y muros”, lo cual se debe al traslado de los materiales y equipos hacia una nueva zona de trabajo ubicada en una manzana alejada.

Junto al Look Ahead, se realiza el Análisis de Restricciones que es útil para identificar a tiempo todo lo necesario para poder realizar las actividades programadas. Este análisis está relacionado con el horizonte de seis semanas empleado en el Look Ahead, ya que es el tiempo suficiente para poder levantar las restricciones señaladas. Un ejemplo de este análisis se muestra en la Tabla 4.3.

4.4.3 Plan Semanal

Se realiza partiendo del Look Ahead y consiste en elaborar un listado de las actividades que ya no presentan restricciones porque han sido levantadas previamente por lo que pueden ser programadas para la semana próxima. Estas tareas son las que deben cumplirse en una semana para mantener el tren de actividades.

Para la construcción de las viviendas, el Plan Semanal se elabora en la reunión del equipo de producción. Aquí, se analiza también el Look Ahead actualizado junto al Análisis de Restricciones para cada frente de trabajo, y el Plan Semanal realizado será la base para el Plan Diario que se ejecutará en los próximos días.

Tabla 4.2. Look Ahead Planning – Semana 29 a Semana 34

LOOKAHEAD 6 WEEKS																																														
Descripción actividades	SEMANA 29							SEMANA 30							SEMANA 31							SEMANA 32							SEMANA 33							SEMANA 34										
	Lun	Mar	Mer	Juev	Vier	Sab	Dom	Lun	Mar	Mer	Juev	Vier	Sab	Dom	Lun	Mar	Mer	Juev	Vier	Sab	Dom	Lun	Mar	Mer	Juev	Vier	Sab	Dom	Lun	Mar	Mer	Juev	Vier	Sab	Dom	Lun	Mar	Mer	Juev	Vier	Sab	Dom				
	16-jul	17-jul	18-jul	19-jul	20-jul	21-jul	22-jul	23-jul	24-jul	25-jul	26-jul	27-jul	28-jul	29-jul	30-jul	31-jul	01-ago	02-ago	03-ago	04-ago	05-ago	06-ago	07-ago	08-ago	09-ago	10-ago	11-ago	12-ago	13-ago	14-ago	15-ago	16-ago	17-ago	18-ago	19-ago	20-ago	21-ago	22-ago	23-ago	24-ago	25-ago	26-ago				
Perfilado de terreno	P1-12	P1-13	P1-14	D1-1	D1-2	D1-3	D1-4	D1-15	D1-16	Q1-7														D1-5	D1-6	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	P1-16	P1-17	P1-18	D1-11	D1-12	D1-13	D1-14	Q1-1					
Vaciado solado	P1-12	P1-13	P1-14	D1-1	D1-2	D1-3	D1-4	D1-15	D1-16	Q1-7														D1-5	D1-6	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	P1-16	P1-17	P1-18	D1-11	D1-12	D1-13	D1-14	Q1-1					
Excavación de vigas	Q1-5	P1-8	P1-7	Q1-8	Q1-9	Q1-10	Q1-11	P1-12	P1-13	P1-14	D1-1	D1-2	D1-3	D1-4	D1-15	D1-16	Q1-7										D1-5	D1-6	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	P1-16	P1-17	P1-18	D1-11	D1-12	D1-13	D1-14			
Encofrado de Plateas	Q1-5	P1-8	P1-7	Q1-8	Q1-9	Q1-10	Q1-11	P1-12	P1-13	P1-14	D1-1	D1-2	D1-3	D1-4	D1-15	D1-16	Q1-7										D1-5	D1-6	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	P1-16	P1-17	P1-18	D1-11	D1-12	D1-13	D1-14			
Acero de Plateas	P1-9	Q1-5	P1-8	P1-7	Q1-8	Q1-9	Q1-10	Q1-11	P1-12	P1-13	P1-14	D1-1	D1-2	D1-3	D1-4	D1-15	D1-16	Q1-7									D1-5	D1-6	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	P1-16	P1-17	P1-18	D1-11	D1-12	D1-13	D1-14			
ISS, IEE Plateas	P1-10	P1-9	Q1-5	P1-8	P1-7	Q1-8	Q1-9	Q1-10	Q1-11	P1-12	P1-13	P1-14	D1-1	D1-2	D1-3	D1-4	D1-15	D1-16	Q1-7									D1-5	D1-6	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	P1-16	P1-17	P1-18	D1-11	D1-12	D1-13	D1-14		
Vaciado de Plateas	Q1-04	P1-10	P1-9	Q1-5	P1-8	P1-7	Q1-8	Q1-9	Q1-10	Q1-11	P1-12	P1-13	P1-14	D1-1	D1-2	D1-3	D1-4	D1-15	D1-16	Q1-7									D1-5	D1-6	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	P1-16	P1-17	P1-18	D1-11	D1-12	D1-13	D1-14	
Acero Muros	V-3-1	V-2-1	V-1-1	V-5-2	V-4-2	V-3-2	V-2-2	V-1-2	V-5-3	V-4-3	V-3-3	V-2-3	V-1-3	MUVE	P1-14-1	P1-13-1	P1-12-1	Q1-11-1	Q1-10-1	Q1-9-1	Q1-8-1	Q1-7-1	P1-14-2	P1-13-2	P1-12-2	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	Q1-10-3	Q1-9-3	Q1-8-3	Q1-7-3	P1-2-1	P1-3-1	P1-4-1	P1-5-1				
Colocación de Aislante Térmico	V-3-1	V-2-1	V-1-1	V-5-2	V-4-2	V-3-2	V-2-2	V-1-2	V-5-3	V-4-3	V-3-3	V-2-3	V-1-3	MUVE	P1-14-1	P1-13-1	P1-12-1	Q1-11-1	Q1-10-1	Q1-9-1	Q1-8-1	Q1-7-1	P1-14-2	P1-13-2	P1-12-2	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	Q1-10-3	Q1-9-3	Q1-8-3	Q1-7-3	P1-2-1	P1-3-1	P1-4-1	P1-5-1				
ISS, IEE MUROS	V-4-1	V-3-1	V-2-1	V-1-1	V-5-2	V-4-2	V-3-2	V-2-2	V-1-2	V-5-3	V-4-3	V-3-3	V-2-3	V-1-3	MUVE	P1-14-1	P1-13-1	P1-12-1	Q1-11-1	Q1-10-1	Q1-9-1	Q1-8-1	Q1-7-1	P1-14-2	P1-13-2	P1-12-2	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	Q1-10-3	Q1-9-3	Q1-8-3	Q1-7-3	P1-2-1	P1-3-1	P1-4-1	P1-5-1			
Encofrado de Muros	V-5-1	V-4-1	V-3-1	V-2-1	V-1-1	V-5-2	V-4-2	V-3-2	V-2-2	V-1-2	V-5-3	V-4-3	V-3-3	V-2-3	V-1-3	MUVE	P1-14-1	P1-13-1	P1-12-1	Q1-11-1	Q1-10-1	Q1-9-1	Q1-8-1	Q1-7-1	P1-14-2	P1-13-2	P1-12-2	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	Q1-10-3	Q1-9-3	Q1-8-3	Q1-7-3	P1-2-1	P1-3-1	P1-4-1	P1-5-1		
Encofrado de losas	V-5-1	V-4-1	V-3-1	V-2-1	V-1-1	V-5-2	V-4-2	V-3-2	V-2-2	V-1-2	V-5-3	V-4-3	V-3-3	V-2-3	V-1-3	MUVE	P1-14-1	P1-13-1	P1-12-1	Q1-11-1	Q1-10-1	Q1-9-1	Q1-8-1	Q1-7-1	P1-14-2	P1-13-2	P1-12-2	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	Q1-10-3	Q1-9-3	Q1-8-3	Q1-7-3	P1-2-1	P1-3-1	P1-4-1	P1-5-1		
Acero de losas	Q7-3	V-5-1	V-4-1	V-3-1	V-2-1	V-1-1	V-5-2	V-4-2	V-3-2	V-2-2	V-1-2	V-5-3	V-4-3	V-3-3	V-2-3	V-1-3	MUVE	P1-14-1	P1-13-1	P1-12-1	Q1-11-1	Q1-10-1	Q1-9-1	Q1-8-1	Q1-7-1	P1-14-2	P1-13-2	P1-12-2	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	Q1-10-3	Q1-9-3	Q1-8-3	Q1-7-3	P1-2-1	P1-3-1	P1-4-1	P1-5-1	
ISS, IEE LOSAS	Q7-3	V-5-1	V-4-1	V-3-1	V-2-1	V-1-1	V-5-2	V-4-2	V-3-2	V-2-2	V-1-2	V-5-3	V-4-3	V-3-3	V-2-3	V-1-3	MUVE	P1-14-1	P1-13-1	P1-12-1	Q1-11-1	Q1-10-1	Q1-9-1	Q1-8-1	Q1-7-1	P1-14-2	P1-13-2	P1-12-2	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	Q1-10-3	Q1-9-3	Q1-8-3	Q1-7-3	P1-2-1	P1-3-1	P1-4-1	P1-5-1	
Vaciado losas y Muros	Q6-3	Q7-3	V-5-1	V-4-1	V-3-1	V-2-1	V-1-1	V-5-2	V-4-2	V-3-2	V-2-2	V-1-2	V-5-3	V-4-3	V-3-3	V-2-3	V-1-3	MUVE	P1-14-1	P1-13-1	P1-12-1	Q1-11-1	Q1-10-1	Q1-9-1	Q1-8-1	Q1-7-1	P1-14-2	P1-13-2	P1-12-2	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	Q1-10-3	Q1-9-3	Q1-8-3	Q1-7-3	P1-2-1	P1-3-1	P1-4-1	P1-5-1

Ejemplo de lectura: D1-1 Manzana D1, lote 1

Q1-9-2 Manzana Q1, lote 9, piso 2

Leyenda:

- Mz. V
- Mz. Q1
- Mz. P1
- Movilización
- Mz. D1

Tabla 4.3. Análisis de Restricciones – Semana 29

Actividad	Descripción de la Restricción	Fecha de levantamiento	Responsable levantamiento	Observaciones
Entrega de Plataformado				
Liberación de Excavación y Relleno de Plataformado	Liberación de plataformado P1-17, 18; D1-11, 12, 13, 14; O1-1	18-ago	Jefe Movimiento de tierras	Se empezarán las actividades por los lotes de la Mz. P1
Liberación de Topografía				
Recepción por parte del Área de Viviendas				
Construcción de Platea de Cimentación				
Colocación de Acero (Vigas de acero)	Llegada de acero	18-ago	Jefe Sub frente	
Colocación de Acero (Malla de acero superior e inferior)				
Colocación de dowels				
Colocación de Niveles de Vaciado	Calibración de equipos de topografía	19-ago	J. Frente	
Vaciado de platea de cimentación	Llegada de cemento a Planta de Concreto	17-ago	UNICON	
Construcción de muros y losas				
Trazo para ubicación de muros	Reparación de andamios para encofrado	18-ago	J. Sub frente	
Colocación de Acero en Muros	Llegada de acero	18-ago	J. Sub frente	
Colocación de IIEE y IISS	Llegada de materiales para IIEE e IISS	19-ago	J. Sub frente	
Colocación de Acero en Losa	Llegada de acero	18-ago	J. Sub frente	
Vaciado de concreto en muros y losas	Llegada de "Dragones" para vaciado de muros y losas.	19-ago	J. Subfrente	Deberá revisarse su estado
	Llegada de cemento a Planta de Concreto	17-ago	UNICON	
	Llegada de piedra chancada y arena gruesa	17-ago	J. Frente	
	Llegada de producto epóxico para anclaje de acero	19-ago	J. Sub frente	

En la Tabla 4.4, se muestra la programación del Plan Semanal para la construcción del casco estructural; donde no se ha incluido las escaleras. Para obtener este plan, se parte del Look Ahead y se realiza con actividades que no presentan restricciones tal que puedan ejecutarse sin inconvenientes ya que se debe cumplir en los siete días de la semana. Como los metrados de los tipos de viviendas son parecidos en todas las partidas, se puede lograr similar avance todos los días, siempre que no existan factores externos que dificulten la ejecución normal de los trabajos.

Tabla 4.4. Plan Semanal – Semana 33

Descripción de Actividades	SEMANA 33						
	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Dom
	13-ago	14-ago	15-ago	16-ago	17-ago	18-ago	19-ago
Perfilado de terreno	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	P1-16
Vaciado solado	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	P1-16
Excavación de vigas	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15
Encofrado de Plateas	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15
Acero de Plateas	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6
IISS, IIEE Plateas	D1-6	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5
Vaciado de Plateas	D1-5	D1-6	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4
Acero Muros	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	Q1-10-3
Colocación de Aislante Térmico	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	Q1-10-3
IISS, IIEE Muros	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3
Encofrado de Muros	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3
Encofrado de Losas	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3
Acero de Losas	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3
IISS, IIEE Losas	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3
Vaciado losas y Muros	P1-12-2	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3

Para la mayoría de actividades, se ha considerado que su tiempo de ejecución para completarlas es un día; sin embargo, en algunos casos, esto se simplifica al juntar dos actividades en una sola, por ejemplo, las actividades colocación de acero en muros y colocación de aislante térmico. Los recursos de mano de obra necesarios para que las actividades se completen en la duración estimada se obtienen mediante el uso de rendimientos y balance de cuadrillas. En ambos casos, se toman en cuenta datos reales del proyecto, así como de experiencias pasadas en obras similares.

Al final de cada semana se halla el Porcentaje de Plan Cumplido Semanal (PPC) y las Causas de Incumplimiento (CI), como se muestra en la Tabla 4.5, ambos se explican más adelante.

Tabla 4.5. Porcentaje de Plan Cumplido y Causas de Incumplimiento – Semana 33

Descripción de Actividades	SEMANA 33							PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO				
	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Dom	SI	NO	TIPO	CAUSA DE INCUMPLIMIENTO	MEDIDA CORRECTIVA
	13-ago	14-ago	15-ago	16-ago	17-ago	18-ago	19-ago					
Perfilado de terreno	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	P1-16	X				
Vaciado solado	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	P1-16	X				
Excavación de vigas	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	X				
Encofrado de Plateas	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-15	X				
Acero de Plateas	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	X				
IISS, IIEE Plateas	D1-6	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	X				
Vaciado de Plateas	D1-5	D1-6	D1-7	D1-10	P1-2	P1-3	P1-4	X				
Acero Muros	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	Q1-10-3	X				
Colocación de Aislante Térmico	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	Q1-10-3	X				
IISS, IIEE MUR0S	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	Q1-11-3	X				
Encofrado de Muros	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3		X	Programación	Mala asignación de recursos.	Verificar la cantidad de personal en campo.
Encofrado de losas	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	P1-12-3	X				
Acero de losas	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	X				
IISS, IIEE LOSAS	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	P1-13-3	X				
Vaciado losas y Muros	P1-12-2	Q1-11-2	Q1-10-2	Q1-9-2	Q1-8-2	Q1-7-2	P1-14-3	X				
								93%	7%			

4.4.4 Plan Diario

Es el programa detallado de las actividades a realizarse en un día y, generalmente, se elabora el día anterior en base al Plan Semanal. Las actividades a ejecutarse son listadas y junto a estas se especifican la hora de inicio y fin de la tarea, la cuadrilla encargada, el capataz responsable, el metrado programado y algunas observaciones de ser el caso.

En la obra, se realiza un plan diario por cada uno de los sub frentes de trabajo de Viviendas, ya que cada uno cuenta con sus propias cuadrillas de trabajadores y con un plan semanal a cumplir de acuerdo a su Look Ahead Planning. Dicho plan diario es repartido a los capataces responsables al inicio de la jornada por lo que son informados de las actividades programadas para el día; de esta forma, se difunde a todas las cuadrillas las responsabilidades a cumplir. Para llegar a los objetivos del día, es necesario trabajar de manera conjunta entre ingenieros, capataces y mano de obra porque así se transmiten sugerencias y se establece un trabajo en equipo.

4.4.5 Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) y Causas de Incumplimiento (CI)

Para medir la confiabilidad de una programación diaria, o semanal, se utiliza el Porcentaje de Plan Cumplido (o PPC por sus iniciales) como indicador. Este valor nos muestra el porcentaje de tareas cumplidas con respecto a las tareas programadas para el día. En dicho porcentaje, solo se consideran las tareas cumplidas en su totalidad, ya que esto nos demuestra el nivel de confiabilidad obtenido de la programación. Con los PPC de diversos días, se lleva un control estadístico de cada semana que a su vez permite obtener la variación de dicho porcentaje en el transcurso de la obra.

Cuando alguna tarea no ha sido cumplida en su totalidad, se clasifican las razones que llevaron a su incumplimiento conocidas como Causas de Incumplimiento (CI) para, posteriormente, poder realizar un feedback en reuniones que ayuden a identificar los problemas y errores que pudieron originarse en la programación o en la ejecución.

4.4.6 Elaboración de Plan Diario, PPC y CI

En la Tabla 4.6, se muestra el Plan diario para el día viernes 10 de agosto del 2012. El Plan Diario es de uno de los sub frente del Frente Viviendas y es elaborado por el Ingeniero encargado. Como se observa, el nivel de detalle es mucho mayor al obtenido en el *Lookahead* o en el Plan Semanal, esto con el fin de llevar un control riguroso durante las actividades programadas cada día.

Tabla 4.6. Plan Diario – Día 10 de agosto de 2012

FORMULARIO GESTIÓN DE PROYECTOS PLAN DIARIO VIERNES 10/08/12 PLAN DIARIO DE CONSTRUCCION DE VIVIENDAS									
NOMBRE DE PROYECTO: CIUDAD NUEVA FUERABAMBA									
CODIGO: 1728									
DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	UBICACIÓN	TIPO DE CASA	UND	METRADO	OBREROS POR CUADRILLA	TOTAL OBREROS	CAPATAZ	HORA INICIO	HORA FIN
TOPOGRAFO									
Nivelación de losa	P1-11	2A	Glb	1.00	1 op + 6 of	7	Sinti	9:00	10:00
Nivelación de losa post vaciado	P1-10	2A	Glb	1.00	1 op + 6 of	7	Sinti	10:00	12:00
Nivelación de muros y losa 2do nivel post vaciado	C1-9	2A	Glb	1.00	1 op + 6 of	7	Sinti	13:00	15:00
Nivelación de losa	C1-10	2A	Glb	1.00	1 op + 6 of	7	Sinti	15:00	17:00
CARPINTEROS									
Encofrado de muros y losa 1er nivel	P1-12	2A	m2	391.52	8 op + 8 of	16	Ari	7:00	17:00
Encofrado de muros y losa 2do nivel	C1-11	3B	m2	346.96	8 op + 8 of	16	Ari	7:00	17:00
Desencofrado de muros 1er nivel	P1-9	2A	m2	391.52	8 op + 8 of	16	Gutierrez	7:00	17:00
Desencofrado de muros 2do nivel	C1-8	2A	m2	359.77	8 op + 8 of	16	Gutierrez	7:00	17:00
CONCRETO									
Concrreto muros y losa 1er nivel	P1-10	2A	m3	37.51	4 op + 4 of	8	Bellido	10:00	13:00
Concrreto muros y losa 2do nivel	C1-9	2A	m3	33.59	4 op + 4 of	8	Bellido	14:00	17:00
Acabados muros y losa 1er nivel	P1-9	2A	m2	94.38	2 op + 4 of	6	Cortez	7:00	12:00
Acabados muros y losa 2do nivel	C1-8	2A	m2	78.43	2 op + 4 of	6	Cortez	13:00	17:00
FIERREROS									
Colocación de acero en muros 1er nivel	P1-10	2C	kg	995.41	4 op+ 5 of	9	Beltrán	7:00	17:00
Colocación de acero en muros 2do nivel	C1-13	2A	kg	1091.84	4 op+ 5 of	9	Reyes	7:00	17:00
Colocación de acero en losa 1er nivel	P1-12	2A	kg	625.89	4 op+ 3 of	7	Aburto	7:00	14:00
Colocación de acero en losa 2do nivel	C1-11	3B	kg	326.71	4 op+ 3 of	7	Aburto	14:00	17:00
Habilitación de acero en banco					1 op + 4 of + 2 pe	7	Pichón	7:00	17:00
IISS									
Colocación IISS en muros 1er nivel	P1-13	2A	Glb	1.00	2 op + 2 of	4	Córdova	7:00	10:00
Colocación IISS en muros 2do nivel	C1-12	2A	Glb	1.00	2 op + 2 of	4	Córdova	10:00	12:00
Colocación IISS en losa 1er nivel	P1-11	2A	Glb	1.00	2 op + 2 of	4	Córdova	13:00	15:00
Colocación IISS en losa 2do nivel	C1-10	2A	Glb	1.00	2 op + 2 of	4	Córdova	15:00	17:00
IIEE									
Colocación IIEE en muros 2do nivel	P1-13	2A	Glb	1.00	3 op + 2 of	5	Chumbiaca	7:00	10:00
Colocación IIEE en muros 1er nivel	C1-12	2A	Glb	1.00	3 op + 2 of	5	Chumbiaca	10:00	12:00
Colocación IIEE en losa 2do nivel	P1-11	2A	Glb	1.00	3 op + 2 of	5	Chumbiaca	13:00	15:00
Colocación IIEE en losa 1er nivel	C1-10	2A	Glb	1.00	3 op + 2 of	5	Chumbiaca	15:00	17:00

En la columna de ubicación se coloca la manzana a la que pertenece la vivienda y el número de lote de acuerdo a los planos de la ciudad, lo cual permite una fácil ubicación para las cuadrillas; aunque en la mayoría de ocasiones, las ubicaciones son las mismas o colindantes a las del día anterior por pertenecer al mismo tren de trabajo. Al lado de estas, se señala el tipo de vivienda que corresponde a dicho lote pues en cada uno de ellas varía la estructura, arquitectura y las instalaciones.

En el Plan Diario, también se especifica el metrado a avanzar, el cual es muy parecido en los diferentes tipos de viviendas y en cada nivel; lo cual va de acuerdo al tren de actividades. En conjunto, los tres subfrentes de producción de viviendas generan tres niveles de viviendas vaciados cada día más tres plateas de cimentación.

En la columna de obreros por cuadrilla, se señala el número de operarios, oficiales y peones para realizar una actividad y han sido calculados sobre la base de los Índices de Productividad (IP) de cada partida de la obra; este índice se explica en el Capítulo Productividad de obra. Cabe mencionar que si las cantidades a ejecutar son diferentes, una alternativa es balancear la cuadrilla con el promedio de los metrados, siendo poca la diferencia final; así, para metrados mucho mayores, se podría trabajar con horas extras si es que se requieren, evitando cuadrillas sobredimensionadas. Por último se señalan la hora de inicio y la hora de fin de cada actividad.

Para cada cuadrilla de trabajo, se considera la presencia de un capataz, quien es el encargado junto con el ingeniero de campo de hacer que se cumpla el plan al final del día. En algunos casos, un capataz puede supervisar más de una cuadrilla, para lo cual se debe haber alcanzado un alto nivel de experiencia entre operarios y oficiales.

Al final del día, se compara el avance real con lo programado identificándose las actividades que han sido completadas para luego medir la confiabilidad. El indicador PPC da como resultado para este caso 92%. Este análisis se muestra en la Tabla 4.7. Dicho porcentaje se considera como aceptable porque esta obra implica mayores complicaciones y mayor variabilidad que obras de viviendas masivas en ciudades.

Las actividades que no fueron completadas son consideradas como no cumplidas sin importar su porcentaje de avance, por lo que afecta el valor del PPC. Las causas que llevaron a realizar un avance parcial o nulo son colocadas en la columna Causa de Incumplimiento (CI). Para este ejemplo, las actividades fueron encofrado de muros y losa del segundo nivel, y colocación de acero en muros del primer nivel.

En el primer caso, la CI fue un retraso en la actividad previa que es la colocación de las instalaciones eléctricas y sanitarias de muros, la cual no se terminó el día anterior, teniendo que utilizar parte del día y considerando que se podía culminar el encofrado con el tiempo restante. Para la segunda actividad incumplida, su causa fue que parte de la cuadrilla se encontraba de apoyo a otro frente de trabajo; esto suele suceder cuando el frente que solicita el soporte requiere de un trabajo especial. En estas situaciones, se debe tener especial cuidado al reasignar los recursos pues la mano de obra restante disponible debe de realizar el trabajo de acuerdo al plan y recordando que todos los trabajos se encuentran en ruta crítica por formar parte un tren de actividades.

Tabla 4.7. Porcentaje de Plan Cumplido – Día 10 de agosto del 2012

FORMULARIO GESTIÓN DE PROYECTOS											GYM.SGP 1728C-GYM-PP-RP-003	
PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO DIARIO VIERNES 10/08/12											Revisión: 0	
PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO DIARIO DE CONSTRUCCION DE VIVIENDAS											Fecha: 10/08/12	
NOMBRE DE PROYECTO: CIUDAD NUEVA FUERABAMBA												
CODIGO: 1728												
DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	UBICACIÓN	TIPO DE CASA	UND	METRADO	OBREROS POR CUADRILLA	TOTAL OBREROS	CAPATAZ	HORA INICIO	HORA FIN	PPC		
										SI	NO	CAUSA DE INCUMPLIMIENTO
TOPOGRAFO												
Nivelación de losa	P1-11	2A	Glb	1.00	1 op + 6 of	7	Sinti	9:00	10:00	X		
Nivelación de losa post vaciado	P1-10	2A	Glb	1.00	1 op + 6 of	7	Sinti	10:00	12:00	X		
Nivelación de muros y losa 2do nivel post vaciado	C1-9	2A	Glb	1.00	1 op + 6 of	7	Sinti	13:00	15:00	X		
Nivelación de losa	C1-10	2A	Glb	1.00	1 op + 6 of	7	Sinti	15:00	17:00	X		
CARPINTEROS												
Encofrado de muros y losa 1er nivel	P1-12	2A	m2	391.52	8 op + 8 of	16	Ari	7:00	17:00	X		
Encofrado de muros y losa 2do nivel	C1-11	3B	m2	346.96	8 op + 8 of	16	Ari	7:00	17:00		X	Retraso en la actividad previa
Desencofrado de muros 1er nivel	P1-9	2A	m2	391.52	8 op + 8 of	16	Gutierrez	7:00	17:00	X		
Desencofrado de muros 2do nivel	C1-8	2A	m2	359.77	8 op + 8 of	16	Gutierrez	7:00	17:00	X		
CONCRETO												
Concréto muros y losa 1er nivel	P1-10	2A	m3	37.51	4 op + 4 of	8	Bellido	10:00	13:00	X		
Concréto muros y losa 2do nivel	C1-9	2A	m3	33.59	4 op + 4 of	8	Bellido	14:00	17:00	X		
Acabados muros y losa 1er nivel	P1-9	2A	m2	94.38	2 op + 4 of	6	Cortez	7:00	12:00	X		
Acabados muros y losa 2do nivel	C1-8	2A	m2	78.43	2 op + 4 of	6	Cortez	13:00	17:00	X		
FIERREROS												
Colocación de acero en muros 1er nivel	P1-10	2C	kg	995.41	4 op + 5 of	9	Beltrán	7:00	17:00		X	Apoyo en otro frente de producción
Colocación de acero en muros 2do nivel	C1-13	2A	kg	1091.84	4 op + 5 of	9	Reyes	7:00	17:00	X		
Colocación de acero en losa 1er nivel	P1-12	2A	kg	625.89	4 op + 3 of	7	Aburto	7:00	14:00	X		
Colocación de acero en losa 2do nivel	C1-11	3B	kg	326.71	4 op + 3 of	7	Aburto	14:00	17:00	X		
Habilitación de acero en banco					1 op + 4 of + 2 pe	7	Pichón	7:00	17:00	X		
IISS												
Colocación IISS en muros 1er nivel	P1-13	2A	Glb	1.00	2 op + 2 of	4	Córdova	7:00	10:00	X		
Colocación IISS en muros 2do nivel	C1-12	2A	Glb	1.00	2 op + 2 of	4	Córdova	10:00	12:00	X		
Colocación IISS en losa 1er nivel	P1-11	2A	Glb	1.00	2 op + 2 of	4	Córdova	13:00	15:00	X		
Colocación IISS en losa 2do nivel	C1-10	2A	Glb	1.00	2 op + 2 of	4	Córdova	15:00	17:00	X		
IIEE												
Colocación IIEE en muros 2do nivel	P1-13	2A	Glb	1.00	3 op + 2 of	5	Chumbiaca	7:00	10:00	X		
Colocación IIEE en muros 1er nivel	C1-12	2A	Glb	1.00	3 op + 2 of	5	Chumbiaca	10:00	12:00	X		
Colocación IIEE en losa 2do nivel	P1-11	2A	Glb	1.00	3 op + 2 of	5	Chumbiaca	13:00	15:00	X		
Colocación IIEE en losa 1er nivel	C1-10	2A	Glb	1.00	3 op + 2 of	5	Chumbiaca	15:00	17:00	X		
TOTAL						195					92%	8%
TOTAL + CAPATAZ						206						

Cabe señalar que las Causas de Incumplimiento más comunes son las siguientes: error de programación, retraso en la actividad previa, problemas logísticos, de seguridad y por motivos del cliente. A diferencia de los meses de invierno cuando la mayor dificultad es la temperatura extrema baja del ambiente, en la época de verano es cuando existe mayor variabilidad debido a los fenómenos climáticos como lluvias o tormentas eléctricas que paralizan y retrasan la ejecución de las actividades, representando la mayor causa de incumplimiento.

4.5 PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS

El presupuesto del proyecto por las características del mismo es actualizado mensualmente en base al costo en la fecha de análisis y al costo del saldo proyectado, basado en estimaciones y posibles cambios en el desarrollo de la obra. Por ello, es necesario realizar un análisis detallado que permita calcular el costo lo más cercano a la realidad para que los resultados obtenidos al final de cada periodo de evaluación sean lo más cercanos a los planificados.

En la Tabla 4.8 se presenta el presupuesto del Proyecto con fecha de análisis setiembre del 2012, donde puede observarse que los trabajos de mayor impacto son los relacionados a los Movimientos de Tierras los cuales representan un 31.8%, mientras que el costo de la construcción de las viviendas representa un 12.4% del costo total.

Tabla 4.8. Presupuesto Venta del Proyecto – Fecha de análisis: Setiembre 2012

Nombre del Contrato	Presupuesto Venta (Costo Directo + Utilidad + Gastos Generales) (USD)	Incidencia
Contrato de Servicios de Ingeniería y Arquitectura (Subcontratos)	12,046,886.96	3.3%
Contrato EPCM (Personal staff profesional, staff técnico y manual)	62,928,012.87	17.5%
Contrato de Movimiento de Tierras	114,474,366.12	31.8%
Contrato de Construcción de Edificios No Residenciales	-	-
Contrato de Construcción de Viviendas	44,774,104.82	12.4%
Contrato de Servicio de Tráfico y Logística (de equipos y materiales)	7,444,071.80	2.1%
Contrato de Construcción de Muros y Estructuras Exteriores	-	-
Contrato de Campamento de Construcción	19,048,330.14	5.3%
Contrato de Construcción de Facilidades de Obra (Instalaciones de Media y Baja tensión para ciudad, red de agua potable, red de alcantarillado y Planta de Tratamiento de Agua Potable y Residuales)	14,502,527.78	4.0%
Contrato de Construcción de Caminos, Pavimentos, Aceras, Drenajes, Áreas Verdes e Instalaciones Temporales	36,117,217.65	10.0%
Contrato de Servicio de Transporte de Personal (Transporte interno y viajes desde y hacia el proyecto)	27,165,630.96	7.5%
Contrato de Producción y Suministro de Agregados y Concreto Premezclado	21,733,498.68	6.0%
Total	360,234,647.77	100.0%

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

En este presupuesto no se incluye la construcción de edificaciones no residenciales, muros perimetrales y estructuras exteriores correspondientes a las viviendas ya que no están contempladas contractualmente en la primera etapa del proyecto.

El presupuesto del costo directo para la construcción de las viviendas del mismo mes de análisis se muestra en la Tabla 4.9, con la respectiva incidencia por partida respecto al total. Las partidas de Estructuras y Arquitectura incluyen los costos de mano de obra, equipos, materiales y subcontratos; a excepción del costo del concreto premezclado ya que su fabricación está incluida en un contrato independiente, cuyo costo de todo el proyecto está señalado en el cuadro anterior.

Tabla 4.9. Costo Directo Viviendas – Fecha de análisis: Setiembre 2012

Partida	Costo Directo (USD)	Incidencia
Actividades de Soporte	1,291,650.82	3.4%
Estructuras	8,848,396.24	23.3%
Arquitectura	8,667,656.29	22.9%
Instalaciones Eléctricas	1,269,920.60	3.4%
Instalaciones Sanitarias	1,345,552.12	3.6%
Procura de Materiales	14,923,542.13	39.4%
Otros conceptos	1,550,434.77	4.1%
Total	37,897,152.97	100.0%

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Se observa que las partidas de estructuras, arquitectura y procura de materiales son las que representan un mayor porcentaje de incidencia. Estas actividades sumadas dan un total de 85.6% del costo de construcción de viviendas.

Las partidas de estructuras y arquitectura siempre representan un porcentaje importante del presupuesto en toda obra de construcción, por lo que, en general, se orientan grandes esfuerzos para su control. Por otro lado, es resaltante la incidencia de la procura de materiales en el costo total (39.4%), lo cual no es algo común en obras de edificaciones. Esto se debe principalmente a la ubicación del proyecto, ya que los costos de transporte, abastecimiento y almacenamiento de materiales son mayores a obras de edificaciones similares en ciudades.

Para la construcción del casco estructural, las partidas que participan son mostradas en la Tabla 4.10 junto a las de Acabado de concreto y Juntas. Adicionalmente, se muestra el costo de la partida de estructuras metálicas. En la colocación de acero, se ha considerado tanto las varillas de acero como las mallas electrosoldadas que se colocan en los muros, mientras que el aislante térmico se ha considerado como una partida diferente. Como se señaló, la partida de concreto no incluye el costo de su fabricación por lo que su incidencia se ve reducida. De forma similar sucede con la partida Movimiento de Tierras, haciendo esta referencia a excavaciones y rellenos localizados, pues los costos de movimientos masivos son considerados en otro contrato. De este grupo de partidas, las que mayor incidencia tienen son Acero y el Encofrado metálico, que sumadas representan el 79.4% del costo del casco estructural.

Tabla 4.10. Costo Directo Casco Estructural – Fecha de análisis: Setiembre 2012

Sub partidas	Costo Directo (USD)	Incidencia
Casco Estructural	6,780,560.37	100.0%
Movimiento de tierras	52,629.02	0.8%
Acero	2,078,781.91	30.7%
Aislamiento térmico	633,893.49	9.3%
Encofrado metálico	3,274,871.84	48.3%
Encofrado de madera	102,055.05	1.5%
Concreto premezclado	392,733.97	5.8%
Acabado del concreto	188,362.11	2.8%
Juntas	57,232.98	0.8%
Estructuras metálicas	2,067,835.87	
Total	8,848,396.24	

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Este análisis muestra la importancia de las partidas que conforman el casco estructural en el costo de las viviendas, por lo que su estudio y mejora en aspectos como la productividad serían de gran influencia para el costo del proyecto.

5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DEL CASCO ESTRUCTURAL

5.1 GENERALIDADES

La construcción de la obra se encuentra a cargo del área de producción del proyecto, que por las características del mismo ha sido dividida en tres frentes de trabajo. El primero en operar en una zona es el Frente Movimiento de Tierras, abarcando trabajos de voladura, excavación, corte, relleno y eliminación de material, para la construcción del plataformado de la ciudad. El segundo Frente en operar es Habilitación Urbana, a cargo de realizar labores de saneamiento, y excavación y relleno menor. Finalmente, con el plataformado listo, el encargado de la construcción de las edificaciones residenciales es el Frente Viviendas.

Producción cuenta con las áreas de Calidad (QA-QC) y Seguridad (PdrGA) como áreas de soporte relacionadas directamente a los trabajos de campo. Estas áreas están integradas al proyecto desde su concepción, siendo su intervención crucial en el desarrollo de la obra. Ellas colaboran y verifican que los trabajos por realizar y realizados cuenten con condiciones seguras de trabajo y cumplan con un proceso que respete las características técnicas acordadas.

Centrándonos en la construcción de las edificaciones residenciales a cargo del Frente Viviendas, sus labores abarcan trabajos de construcción del casco estructural, de acabados, de colocación de la estructura metálica del techo del último nivel y de la terma solar, de la construcción del depósito, del invernadero y del muro perimetral del lote de la vivienda. Las actividades que serán ejecutadas por la modalidad de subcontrato son la colocación del techo metálico junto a algunas partidas de acabados, las demás serán realizadas con mano de obra calificada propia de la empresa contratista.

El casco estructural está conformado por muros y losas de concreto armado de ductilidad limitada, llamados así por su escasa capacidad de deformación inelástica. En el interior de los muros perimetrales se cuenta con planchas de poliestireno expandido como aislante térmico. Está compuesta además por una platea de cimentación. Su construcción consta de diversos trabajos, que para su desarrollo y control, son denominados partidas.

La elección del sistema estructural de ductilidad limitada corresponde a las ventajas de rapidez constructiva y a ciertos ahorros en los costos en este tipo de construcciones; debido principalmente al hecho de ser un proyecto de viviendas modulares y masivas lo que permite obtener mayores rendimientos. La velocidad de los procesos y el ahorro de costos involucra también contar con la mayor cantidad de materiales industrializados, tales como mallas electrosoldadas, encofrado metálico y concreto premezclado. Cada uno de ellos se explicará en sus respectivas actividades.

Sin embargo, el proceso constructivo de este tipo de viviendas conlleva también desventajas, involucrando defectos en el concreto los cuales serán descritos más adelante. Estas complicaciones deben ser subsanadas para asegurar la funcionalidad y calidad de las edificaciones.

5.2 SECUENCIA CONSTRUCTIVA EMPLEADA

La secuencia de los trabajos del casco estructural sigue el orden de un proceso constructivo racional y adecuado a las características propias de las edificaciones, como planos y especificaciones; del proyecto, como logística y organización; y de la zona como condiciones de clima, accesos a la zona, fuente de abastecimiento de materiales, equipos y disponibilidad de mano de obra.

Con fines del presente estudio, la secuencia constructiva está delimitada desde el trazo y replanteo de la poligonal del lote, lo que corresponde a trabajos de topografía, hasta el curado y trabajos de reparación de los elementos estructurales de concreto, tales como cangrejas. Sin embargo, es necesario explicar las actividades precedentes de los otros dos frentes de producción.

5.2.1 Actividades Previas

El proyecto se ubica en su totalidad cimentado en un plataformado, compuesto de zonas de corte y relleno. Su construcción comprende labores mayores de conformación realizados con maquinaria pesada dejando sectores a una sola pendiente (*Ver Imagen N° 01 y 02 del Anexo 02*). Para que el siguiente frente inicie sus actividades es requisito la *liberación* de la zona a cargo del área de Calidad, lo que significa que debe darse conformidad a los trabajos realizados de acuerdo a las especificaciones técnicas y planos. Para calcular las propiedades del plataformado en campo se usan densímetros nucleares debido a la rapidez con las que se obtienen los parámetros requeridos del suelo.

A partir de ese momento es que se realizan los trabajos de relleno, compactación y nivelación lote por lote. Esto se ejecuta con maquinaria menor con el fin de ubicar el plataformado final de cada vivienda en las coordenadas indicadas en los respectivos planos (*Ver Imagen N° 03 del Anexo 02*). Luego, cada lote debe ser *liberado* nuevamente y deben realizarse trabajos de topografía para el trazo y replanteo de la poligonal del lote y de la vivienda.

5.2.2 Actividades de la secuencia constructiva

A continuación se describe la secuencia constructiva del casco estructural para las viviendas tipo 1R y 2R. Sin embargo, los procesos y secuencia constructiva empleada son similares en las edificaciones de dos y tres niveles. (*Para ver las imágenes señaladas, referirse al “Anexo 02 – Imágenes de la Secuencia Constructiva de las viviendas”*).

Trazo de la poligonal del lote y de la vivienda

1. Topografía: Trazo y replanteo de la poligonal del lote.
2. Topografía: Trazo y replanteo de la poligonal de la vivienda y de sus muros perimetrales e interiores. (*Ver Imagen N° 04 y 05*)

Solado

3. Excavación del suelo de 5 cm para solado. (*Ver Imagen N° 06*)
4. Nivelación y compactación de excavación. (*Ver Imagen N° 07*)
5. Recubrimiento de la plataforma con plástico para evitar el contacto directo suelo – concreto. (*Ver Imagen N° 08*)
6. Colocación de niveles y planchas de poliestireno expandido forradas con plástico en zonas de vigas de cimentación. (*Ver Imagen N° 09*)
7. Instalación de carpa (si aplica).
8. Vaciado de solado y acabado de concreto. (*Ver Imagen N° 10*)

Platea de cimentación

9. Excavación de zanjas para vigas de cimentación y desagüe. (*Ver Imagen N° 13*)
10. Encofrado de madera para platea. (*Ver Imagen N° 15*)
11. Recubrimiento de zanjas con plástico para evitar el contacto directo suelo – concreto. (*Ver Imagen N° 16*)
12. Colocación del acero de refuerzo de vigas de cimentación. (*Ver Imagen N° 17*)

13. Colocación del acero de refuerzo de la platea de cimentación y de dowels para muro. *(Ver Imagen N° 18)*
14. Colocación de geomembranas, capuchones y zunchos de acero como protección.
15. Instalaciones sanitarias relativas a platea.
16. Instalaciones eléctricas relativas a platea. *(Ver Imagen N° 19)*
17. Instalación de carpa. *(Ver Imagen N° 20)*
18. Vaciado de losa y acabado de concreto. *(Ver Imagen N° 21, 22, 23, y 24)*
19. Uso de calentadores de aire seco (si aplica).
20. Curado de platea de concreto. *(Ver Imagen N° 25)*
21. Desencofrado de platea de cimentación. *(Ver Imagen N° 26)*
22. Desarmado de carpa.

Muros Primer Nivel

23. Trazo y replanteo de muros.
24. Retiro de geomembranas, capuchones y zunchos de acero. *(Ver Imagen N° 27)*
25. Escarificación de franjas de muros en platea o losa.
26. Colocación del acero de refuerzo de muros. *(Ver Imagen N° 28, 31, 32)*
27. Colocación de planchas de poliestireno para muros. *(Ver Imagen N° 29)*
28. Colocación de separadores de acero y de concreto pobre, y del acero de sostenimiento para el poliestireno. *(Ver Imagen N° 30)*
29. Instalaciones sanitarias relativas a muro.
30. Instalaciones eléctricas relativas a muro. *(Ver Imagen N° 33)*
31. Encofrado metálico para muro. *(Ver Imagen N° 34 y 35)*

Losa Primer Nivel

32. Encofrado metálico para losa. *(Ver Imagen N° 36, 37)*
33. Colocación de pasarelas o guardacuerpos. *(Ver Imagen N° 38)*
34. Colocación del acero de refuerzo de losas. *(Ver Imagen N° 39)*
35. Instalaciones sanitarias relativas a losa. *(Ver Imagen N° 40)*
36. Instalaciones eléctricas relativas a losa. *(Ver Imagen N° 41)*
37. Instalación de carpa. *(Ver Imagen N° 42)*
38. Vaciado monolítico muro – losa y acabado de concreto. *(Ver Imagen N° 43 y 44).*
39. Uso de hidrolavadora para limpieza del encofrado. *(Ver Imagen N° 45)*
40. Uso de calentadores de aire seco (si aplica). *(Ver Imagen N° 46)*

41. Curado de la cara superior de la losa de concreto.
42. Retiro de pasarelas o guardacuerpos.
43. Desencofrado de elementos verticales y horizontales. (*Ver Imagen N° 47*)
44. Curado de los muros y de la cara inferior de la losa de concreto. (*Ver Imagen N° 48*)
45. Retiro de puntales y losas puntales. (*Ver Imagen N° 49*)
46. Desarmado de carpa.

Muros Segundo Nivel

47. Colocación de pasarelas o guardacuerpos para acceder al segundo nivel. (*Ver Imagen N° 50*)
48. Se repite la secuencia constructiva de los pasos 22 a 31.
49. Colocación de pasarelas o guardacuerpos para permitir el posterior vaciado.
50. Instalación de carpa.
51. Vaciado de muro y acabado de concreto.
52. Uso de hidrolavadora para limpieza del encofrado.
53. Uso de calentadores de aire seco (si aplica).
54. Retiro de pasarelas o guardacuerpos que permitieron el vaciado.
55. Desencofrado de muros.
56. Curado de los muros de concreto.
57. Desarmado de carpa.

Escaleras

58. Topografía: Trazo y replanteo de escalera (*Ver Imagen N° 55*)
59. Escarificación de franjas de escalera en platea, losa y muros. (*Ver Imagen N° 56*)
60. Anclaje de acero de soporte en muros para el encofrado de escalera y armadura del descanso. (*Ver Imagen N° 57*)
61. Encofrado metálico para la base y borde de escalera.
62. Colocación del acero de refuerzo de escaleras.
63. Encofrado metálico para los contrapasos de escalera. (*Ver Imagen N° 58*)
64. Aplicación de pegamento epóxico en el arranque y entrega de escalera. (*Ver Imagen N° 59*)
65. Vaciado de escalera y acabado de concreto. (*Ver Imagen N° 60 y 61*)
66. Curado de las escaleras de concreto.

5.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES MÁS IMPORTANTES

Luego de haber mostrado la secuencia constructiva, se presentan las principales cuatro actividades del casco estructural. Estas forman parte de las partidas de control, lo que significa que representan la mayor incidencia en el costo de la construcción y consumen el mayor tiempo para su ejecución. Adicionalmente, estas actividades están relacionadas directamente al uso del aislante térmico en los muros perimetrales, material que representa la innovación constructiva de estas viviendas en el Proyecto. Estas cuatro actividades son: acero de refuerzo, aislante térmico en muros perimetrales, encofrado y concreto.

El detalle del proceso constructivo de las partidas nombradas se basa en las operaciones realizadas en campo, en las buenas prácticas de la empresa constructora y en los Procedimientos de Trabajos Operacional y de Seguridad. Cabe mencionar que estos procedimientos son documentos oficiales entre cliente y contratista que estandarizan los diferentes trabajos de construcción, respetando los lineamientos y requisitos de seguridad, medioambiental, calidad y alcance del proyecto. Son elaborados por el área de Producción, revisados por las áreas de soporte QA-QC y PdrGA, y finalmente, aprobados por el cliente.

Es necesario explicar que las actividades acero de refuerzo y aislante térmico a pesar de ser partidas independientes, están siendo detalladas de forma conjunta pues por proceso constructivo estas se desarrollan de forma simultánea, siendo la misma cuadrilla encargada de estos trabajos.

5.3.1 Acero de refuerzo – Aislante térmico

Los trabajos de acero de refuerzo y aislante térmico marcan un hito importante en la construcción del casco estructural de las viviendas. Ambos son las primeras partidas que implican un significativo uso de recursos, tanto por su metrado como por su consumo de horas hombre.

En promedio, las viviendas 1R y 2R consumen 3.0 toneladas de acero; mientras que las viviendas 2A, 2B, 2C, 3A y 3B, 5.9 toneladas. El metrado total de acero que implica la construcción de las 441 viviendas asciende a 2,399,180.5 kg.

Tabla 5.1. Metrado de Acero de refuerzo y de sostenimiento con varillas

Elemento	Tipos de viviendas						
	1R	2R	2A	2B	2C	3A	3B
Platea	1,018.38	946.09	1,755.50	1,481.98	1,228.88	1,371.44	1,505.34
Muro y Losa 1er Piso	1,209.38	1,069.51	1,950.92	1,606.14	1,458.51	1,469.28	1,752.49
Muro y Losa 2do Piso	848.19	828.17	1,603.43	1,532.22	1,558.13	1,589.15	1,591.32
Muro 3er Piso	--	--	935.60	1,178.50	1,146.98	1,192.21	1,097.58
Escaleras	43.05	43.05	86.25	86.25	86.25	86.25	86.25
Parcial	3,119.00	2,886.82	6,331.70	5,885.09	5,478.75	5,708.33	6,032.98
Cant. de viv.	59	43	217	4	32	2	84
Total	184,021	124,133	1,373,979	23,540	175,320	11,417	506,770
Total Proyecto	2,399,180.50 kg de acero						

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Respecto al aislante térmico, las viviendas 1R y 2R consumen 130 m² de este material; mientras que las viviendas 2A, 2B, 2C, 3A y 3B, 240 m². El metrado total de las 441 viviendas asciende a 98,049 m².

Tabla 5.2. Metrado de Aislante Térmico

Elemento	Tipos de viviendas						
	1R	2R	2A	2B	2C	3A	3B
Muro y Losa 1er Piso	70.0	68.0	95.0	90.0	72.0	68.0	93.0
Muro y Losa 2do Piso	60.0	62.0	83.0	76.0	74.0	76.0	89.0
Muro 3er Piso	--	--	73.0	80.0	77.0	79.0	77.0
Parcial	130.0	130.0	251.0	246.0	223.0	223.0	259.0
Cant. de viviendas	59	43	217	4	32	2	84
Total	7670.0	5590.0	54467.0	984.0	7136.0	446.0	21756.0
Total proyecto	98049.0 m ² de aislante térmico						

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Se ha mostrado el metrado de acero con varillas convencionales; sin embargo, el refuerzo principal adoptado en el proyecto consiste en mallas electrosoldadas de acero corrugado de esfuerzo de fluencia $f_y=5,000$ Kg/cm²; y como refuerzo especial, bastones y separadores, varillas de acero corrugado grado 60 de esfuerzo de fluencia $f_y=4,200$ Kg/cm² los cuales son colocados en plateas, muros, losas, columnas, vigas y escaleras.

Para pasar de la cuantía de acero convencional a seleccionar un tipo de malla se aplica la siguiente fórmula:

$$As_{malla} = \frac{As_{varilla}}{e_{varilla}} \times \frac{fy_{varilla}}{fy_{malla}}$$

5.3.1.1 Habilitación

La habilitación del acero se realiza en un espacio acondicionado especialmente para tal fin, denominado banco. Desde ese lugar se habilita el acero para abastecer a los tres sub frentes de producción encargados de la construcción de las viviendas. Está a cargo de un capataz, y su relevo, y cuenta con los equipos y herramientas necesarios para realizar los trabajos. El acarreo del acero del banco a la zona de trabajo se realiza con camión grúa o de forma manual, dependiendo de las cantidades a transportar y de la distancia.

5.3.1.2 Colocación

Plateas de cimentación

- Refuerzo principal: Doble malla electrosoldada Q214.
- Bastones: Varillas de $\varnothing 8\text{mm}@0.20\text{m}$.
- Separadores: Varillas de $\varnothing 8\text{mm}$.
- Vigas de cimentación: 6 varillas longitudinales de $\varnothing 1/2''$ con estribos de $\varnothing 8\text{mm}@0.25\text{m}$.
- Dowels: Varillas de $\varnothing 8\text{mm}@0.20\text{m}$.

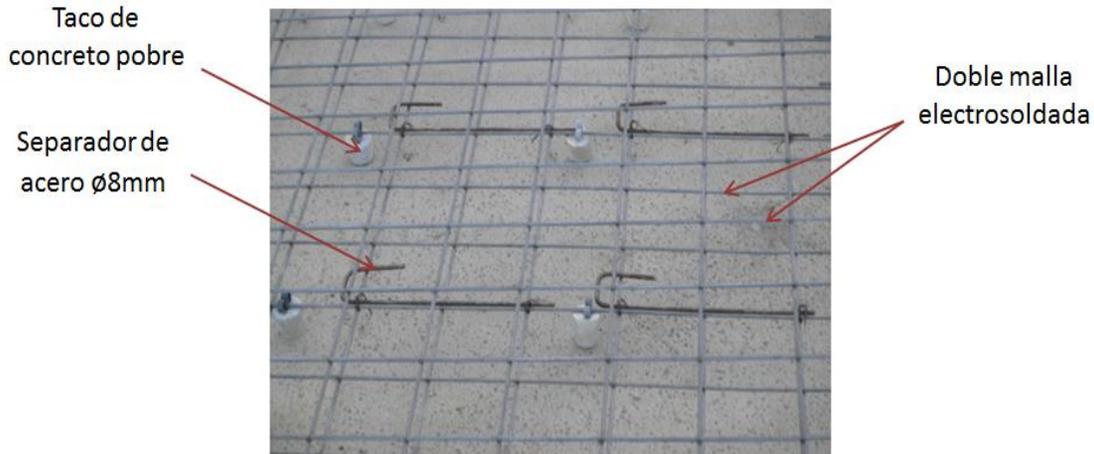
Excavadas las zanjas para las vigas y el desagüe, colocado el encofrado de madera y el recubrimiento de plástico, y contando con el material necesario a pie de obra, se procede a ubicar adecuadamente *dados* de concreto en el fondo de las zanjas para luego colocar las vigas de cimentación, las cuales ya han sido armadas en el banco. Los dados aseguran el recubrimiento especificado para este elemento.

Sobre el solado se ubican *tacos* de concreto pobre, o conocidos como separadores de concreto, para cumplir con la misma función de los dados, luego se posicionan las primeras mallas. Estas mallas inferiores son dimensionadas para que terminen en las zonas próximas a las vigas, siendo entonces necesario realizar empalmes de 30cm entre mallas adyacentes a una viga mediante varillas de acero de 8mm. Las mallas restantes

también se empalmen. Con la armadura inferior instalada, se colocan los separadores de 8mm y se atortolan, en un inicio, solo a esta.

Posteriormente, conforme se va ubicando la malla superior se procede a atortolarla al separador asegurando de esta forma el espaciamiento entre mallas. Terminado el trabajo de mallas, se procede a ubicar los bastones de refuerzo de 8mm en las zonas indicadas en planos, el acero para las escaleras dejando las mechas para su posterior construcción, los *dowels* de 8mm dejando una mecha de 60cm y anclados 50cm en las vigas de cimentación, y el fierro vertical de las columnas si es que estas figuran en los planos del tipo de vivienda.

Figura 5.1. Esquema de distribución del acero en platea



Fuente: Propia

Los últimos trabajos de la cuadrilla corresponden a colocar *zunchos*, los cuales son varillas de acero que mantienen la alineación, verticalidad y separación entre los dowels; ubicar geomembranas, en los extremos del acero vertical, y capuchones, en los extremos del acero horizontal, ambos materiales como medida de protección para las cuadrillas posteriores, en este caso, las de instalaciones sanitarias y eléctricas.

La cuadrilla para la colocación del acero en las plateas ha sido balanceada para que la actividad se pueda completar por sub frente en una jornada; de este modo, al día siguiente, se ejecuta la misma actividad en el lote adyacente.

Muros

- Refuerzo principal: Doble malla electrosoldada Q257 y Q214 para muros perimetrales y malla electrosoldada centrada Q214 para muros interiores.
- Refuerzo especial y de sostenimiento: Varillas de $\varnothing 6\text{mm}$, 8mm y 12mm. Estribos de $\varnothing 6\text{mm}$
- Separadores: Varillas de $\varnothing 8\text{mm}$.

Antes de iniciar los trabajos de colocación de acero y aislante, deben de retirarse los zunchos, las geomembranas y los capuchones en la zona donde se empezará a trabajar. El área debe ser limpiada y el material requerido debe ubicarse a pie de obra.

Debido a que se efectuará empalme entre la platea, o losa, y el muro, es necesario como actividad previa escarificar las franjas donde se vaciarán los muros junto a la limpieza de la *rebaba*. El trabajo de escarificación se realiza con martillo neumático para posteriormente limpiar la zona. Estas actividades mejoran la adherencia entre el elemento ya fraguado, platea o losa, y el elemento por vaciar, muro.

El trabajo propiamente dicho de la actividad acero – aislante inicia colocando toda una fila de mallas electrosoldadas en la cara exterior de un muro perimetral uniéndolas a los dowels correspondientes mediante atortolado y empalmado también las mallas. Luego, se coloca una segunda fila de mallas electrosoldadas, empalmándolas de forma similar. Las mallas ya deben haber sido dimensionadas adecuadamente al muro y a los vanos.

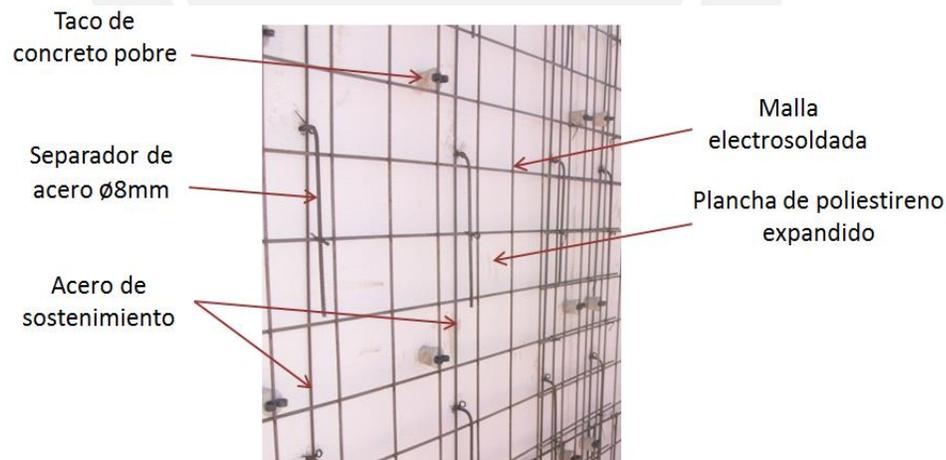
Este tipo de refuerzo se caracteriza en los niveles intermedios de tener en un extremo, de los cuatro que tiene, solo fierro vertical el cual funciona como dowel permitiendo el posterior empalme con el muro del siguiente nivel, es decir, no hay más cocadas en esta zona. Cabe resaltar que si los muros colocados son los del último nivel estos no tendrán este remate especial y serán mallas convencionales.

Con la doble malla lista se procede a colocar las panchas de poliestireno expandido, ingresándolas por una esquina del muro y desplazándolas por el medio de ambas mallas tal que forme toda una pared de este material (*Ver Imagen N° 29 del Anexo 02*). En el caso de los vanos se coloca el aislante por la parte superior y se desplaza hacia abajo hasta su posición final. Las planchas de poliestireno son unidas en tres puntos a lo largo de su altura mediante alambre.

Seguidamente, puestas las planchas se colocan tacos de concreto pobre en el fierro vertical de la malla para mantener la separación constante de 5cm entre el aislante y el refuerzo, esto se realiza en toda el área del muro. No se deben colocar estos tacos en el fierro horizontal pues por su sistema de fijación al fierro permitiría un giro o desprendimiento durante el vaciado del concreto, lo que podría ocasionar un desplazamiento de la plancha o del acero, acarreado en problemas con la separación establecida.

Este sistema de soporte mediante tacos entre aislante y armadura para mantener su separación no es suficiente pues no se asegura que aquellos se salgan o giren tal como ha sido explicado. Es necesario además colocar separadores de acero para las mallas fijados en ellas mediante atortolado. Estos separadores atraviesan al aislante una vez colocado y debido a la escasa resistencia del poliestireno este trabajo no es complicado, de esta forma se asegura mantener la separación especificada entre mallas. Finalmente, como sistema de sostenimiento y apoyo para las planchas se colocan varillas de acero vertical de 8mm atortolado a los separadores ya instalados, esto con el fin de mejorar la poca rigidez de las planchas del aislante.

Figura 5.2. Detalles del acero, separadores y aislantes en muros perimetrales



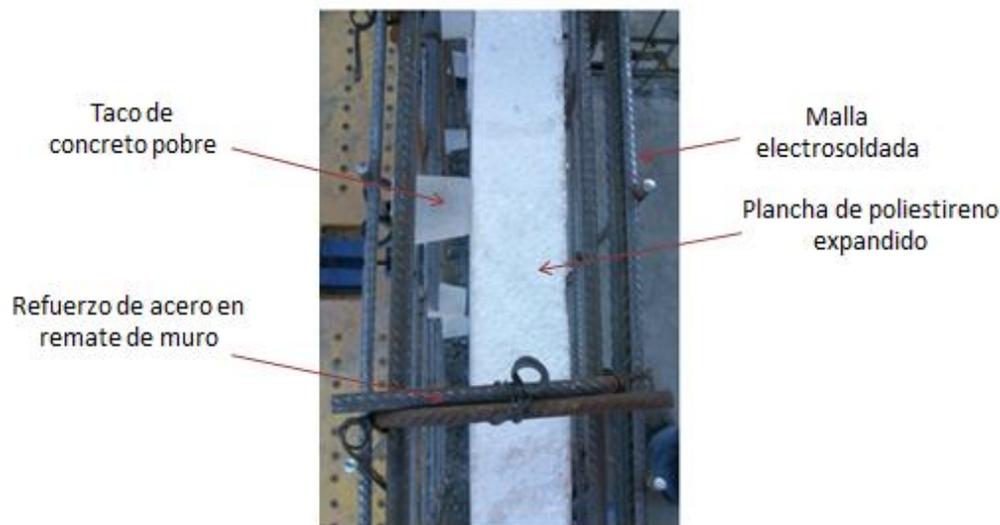
Fuente: Propia

Con todo lo nombrado anteriormente, este sistema de sostenimiento a través de tacos, separadores y varillas de acero aporta al aislante suficiente rigidez para evitar su flexión en el momento del vaciado y al mismo tiempo asegura contar con los espaciamientos y posiciones correctas de los elementos, en este caso, acero y aislante. Sin embargo, si los

trabajos de vaciado no cumplen con los estándares del procedimiento establecido se presentarán casos de elementos con el espaciamiento indebido e incluso con exposición de acero y aislante.

A continuación se muestra una vista en planta de la distribución aislante – acero en un muro perimetral, siendo preciso señalar que en la imagen mostrada aún falta colocar los tacos de concreto en el lado derecho así como los separadores y acero de sostenimiento.

Figura 5.3. Vista en planta de distribución aislante – acero



Fuente: Propia

Culminada la etapa de colocación del acero principal y de sostenimiento de los muros se procede a ubicar el acero de refuerzo especial de 8mm en sus esquinas y bordes, conocido *suples*, para realizar una unión entre las mallas en el encuentro de los muros (*Ver Imagen N° 32 del Anexo 02*). En el caso de los vanos el refuerzo adicional consiste en varillas de acero de 12mm para evitar que en caso de sobreesfuerzos se produzcan grietas en sus esquinas (*Ver Imagen N° 31 del Anexo 02*). Además, columnas y estribos de confinamiento son colocados pues son requeridos en algunos tipos de viviendas.

En el caso de los muros interiores solo es necesaria una malla y no se cuenta con aislante térmico por lo que su colocación es más sencilla y se realiza en una etapa posterior culminado los trabajos en los muros perimetrales. Esta labor comprende únicamente trabajos de colocación de malla mediante atortolado a los dowels y de varillas de acero de 8mm en esquinas y bordes.

Las vigas requeridas en el último nivel de las viviendas como remate de muros (*Ver Imagen N° 51 del Anexo 02*) se colocan en la última etapa del trabajo junto a los nudos de acero que sirven de refuerzo para el soporte de los pernos anclados, parte de las estructuras metálicas del techo del último nivel (*Ver Imagen N° 52 del Anexo 02*).

Cabe resaltar que desde culminado el diseño de ingeniería de las viviendas se especificó tanto el uso de mallas electrosoldadas como acero convencional para la armadura de los diversos elementos de concreto armado. Es así que desde antes de comenzar el proyecto, se optó por la primera opción por las ventajas en el menor consumo de horas hombre debido principalmente al ahorro en el tiempo destinado al trabajo de atortolado entre varillas.

No obstante, debido a problemas logísticos con las mallas, se tuvo que emplear varillas de acero de 8mm al inicio de la obra. Conforme se fueron solucionando los inconvenientes, se dejó de utilizar las varillas en las armaduras para empezar a trabajar con las mallas electrosoldadas. Esto representó una mejora notable en los rendimientos de las cuadrillas, ya que se prescinde del atortolado para unir las varillas en cada cruce. Así mismo, se redujo, en gran parte la cantidad de acero que era necesario habilitar en el banco.

Acero – aislante es la actividad precedente al encofrado de muros y es la actividad seguida del vaciado de platea, si nos encontramos en un primer nivel, o de vaciado de losa, si nos encontramos en un segundo o tercer nivel.

Losas

- Refuerzo principal: Malla electrosoldada centrada Q214.
- Bastones: Varillas de $\varnothing 8\text{mm}$.

Para iniciar esta actividad se debe contar con el encofrado de la losa, andamios y guardacuerpos perimetrales ya armados. Se procede a colocar tacos de concreto pobre distribuidos adecuadamente en toda el área de la losa para luego ubicar las mallas electrosoldadas centradas. No se requiere de separadores de acero como en el caso de las plateas. El refuerzo es empalmado y donde se solicitan bastones de acero estos son dispuestos según planos.

Escaleras

- Refuerzo principal: Varillas de $\varnothing 8\text{mm}@0.25\text{m}$.
- Bastones: Varillas de $\varnothing 8\text{mm}@0.25\text{m}$.

Como se ha mostrado en la secuencia constructiva, este elemento del casco estructural es el último en ser construido en todas las viviendas del proyecto. Esto que significa que así se haya vaciado todos los niveles, solo se cuentan con las mechas ancladas en la platea y en la losa. La razón de lo explicado es que el sistema de encofrado no permite un vaciado monolítico entre muro – escalera – losa.

Ya que según las especificaciones técnicas no se admite redoblado del acero no pueden dejarse las mechas a unir con el acero del descanso de las escaleras dentro del encofrado de los muros. Esto implicaría que en el muro ya fraguado luego del vaciado y del desencofrado debería picarse la zona donde se ubican las barras embebidas para descubrirlas y redoblarlas para alinearlas con el acero de la escalera. Las mechas ya han sido dobladas en el momento del habilitado pues necesita una longitud de empotramiento vertical anclado en el muro y una longitud de mecha horizontal.

Con el fin de evitar esto, la solución adoptada consistió en anclar 7cm las mechas de $\varnothing 8\text{mm}$ para el descanso al muro de 10cm con químico epóxico *Hilti HIT RE 500*, dejando una longitud libre de 50cm para el posterior empalme con la armadura de refuerzo del descanso. Este tipo de epóxico usado es una resina de baja retracción y de lento curado, caracterizándose por la adherencia que logra entre acero y concreto.

El proceso consiste en perforar la longitud especificada con taladro y broca de $\varnothing 3/8$ " los puntos donde se insertarán las varillas, previa escarificación de la zona del descanso, trazo y ubicación. Luego se procede a colocar el cartucho del epóxico dentro del aplicador el cual permite llenar con el adhesivo un volumen previsto para la perforación. Posteriormente, se insertan las varillas de $\varnothing 8\text{mm}$ (*Ver Imagen N° 57 del Anexo 02*). Luego del proceso de fragua completo se empalma estas varillas con el acero especificado del descanso.

Para los anclajes de los tramos del arranque platea – escalera, o losa – escalera, y de la entrega escalera – losa como ya se explicó se cuentan con las mechas por lo que solo se necesita realizar el empalme con el refuerzo de acero de los tramos correspondientes.

5.3.2 Encofrado metálico

Una de las características en la construcción de edificaciones de ductilidad limitada es el empleo de encofrados metálicos. Existen diversas opciones en el mercado para este tipo de encofrado las cuales se diferencian básicamente por el tipo de vaciado que permiten realizar entre los muros y las losas de los niveles de una edificación, es decir, vaciado monolítico o en dos etapas. En el Proyecto, el encofrado para estos dos elementos y escaleras es abastecido por la empresa Formaletas de Aluminio S.A. (FORSA). El único elemento cuyo encofrado es diferente es el de la platea en el que se usa la madera.

El metrado de todos los elementos considerados en el casco estructural, incluyendo plateas, asciende a 390,304.42 m². Evaluando solo el encofrado metálico, este resulta ser 386,519.72 m². A continuación se muestra el metrado por tipo de vivienda y total de esta partida para la construcción de las 441 viviendas.

Tabla 5.3. Metrado de Encofrado

Elemento	Tipos de viviendas						
	1R	2R	2A	2B	2C	3A	3B
Platea	7.53	6.61	8.74	9.20	8.33	8.13	10.00
Muro y Losa 1er Piso	269.53	218.87	409.17	343.62	318.39	315.97	374.57
Muro y Losa 2do Piso	190.93	197.95	359.77	341.32	352.61	353.77	346.56
Muro 3er Piso	--	--	237.07	281.52	279.70	290.19	236.99
Escaleras	8.15	8.15	16.53	16.53	16.53	16.53	16.53
Parcial	476.14	431.58	1,031.28	992.19	975.56	984.59	984.65
Cant. de viv.	59	43	217	4	32	2	84
Total	28,092.3	18,557.9	223,787.8	3,968.8	31,217.9	1,969.2	82,710.6
Total Proyecto	390,304.42 m ² de encofrado						

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

El encofrado ha sido modulado en base a los planos de las viviendas, esto significa que sus elementos que lo componen se adecuan perfectamente, o esto sería el ideal, a las dimensiones de los muros y losas conforme se colocan y ordenan correctamente. Para lograr esto es necesario entender y poder plasmar en campo las especificaciones de los planos de modulación elaborados por el proveedor.

Las características del encofrado metálico es que sus paneles son de aluminio. Además este encofrado cuenta con elementos que permiten generar bruñas de acuerdo a los planos de estructuras, es decir, donde el muro pierde continuidad, como el encuentro muro – alfeizar, o donde la longitud sea suficientemente grande tal que se requiera.

Cabe nombrar que al igual que todos los trabajos se le da mucha importancia al tema de la seguridad con el fin de evitar incidentes y al riesgo que representa. Por ello, aparte de que los trabajadores cuenten con el equipo de protección personal (EPP) básico, también se tienen medidas de seguridad adicionales antes y durante la ejecución; algunas de estas son las siguientes:

- Uso de protectores auditivos (orejeras) debido a la intensidad del ruido producido por los golpes de los martillos.
- Dependiendo del tamaño del panel a transportar, puede ser realizado por una o dos personas teniendo en cuenta el peso y la maniobrabilidad.
- Si se va a encofrar el segundo o tercer nivel (trabajos en altura), es necesario armar un sistema de andamios o barandas y rampas para que los trabajadores puedan transportar materiales de manera libre y segura.
- La colocación de los paneles del encofrado para las losas debe realizarse entre dos personas y con ayuda de puntales.

Las cuadrillas utilizadas para esta actividad están conformadas por parejas de operarios y oficiales, ya que los obreros están acostumbrados a trabajar de esta manera por facilidad. La presencia de ayudantes es mucho menor o incluso puede ser nula ya que las actividades para realizar el encofrado requieren de habilidad y experiencia del trabajador para avanzar a la velocidad y precisión deseada.

El uso del desmoldante en el encofrado es de mucha importancia para que la superficie del concreto quede lo más uniforme posible, ya que no habrá un posterior tarrajeo en los muros de las viviendas, solo solaqueo. A la calidad del desmoldante se le suma la experiencia del trabajador encargado de aplicarlo, el cual debe ser capacitado para dicha tarea. En el caso de observarse fallas en este aspecto después del desencofrado, estas son registradas para tomar acciones correctivas lo antes posible. Esta situación se produjo repetidas veces en un periodo corto, por lo que se evaluó la posibilidad de cambiar el desmoldante. Sin embargo, luego de analizar el caso, se concluyó que las

fallas observadas en la superficie no eran producto del desmoldante, sino de la forma en que este era aplicado por los trabajadores.

Para dividir los paneles de encofrado entre los subfrentes de trabajo, se utilizan colores que permitan su diferenciación, con lo cual queda un número de paneles asignado a cada uno de ellos. Sobre la base de este número, es posible realizar la programación diaria ya que el avance de cada subfrente está limitado por esta cantidad asignada. No obstante, si se produjera una situación en la que es necesario un mayor trabajo, los paneles pueden prestarse de un subfrente al otro.

Se explicará a continuación la habilitación, encofrado y desencofrado de muros y losas de las viviendas. No se detallará el encofrado concerniente a las plateas por ser un encofrado de madera convencional ni el de las escaleras.

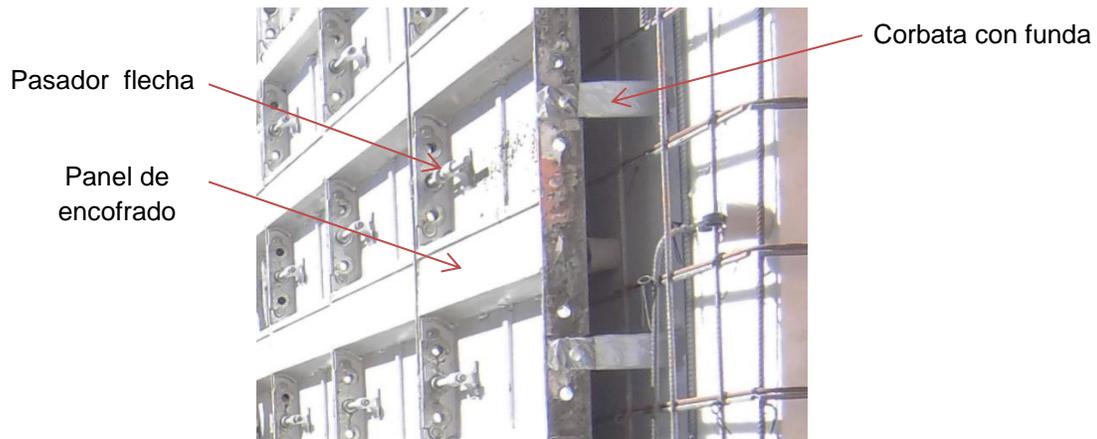
5.3.2.1 Habilitación y encofrado

Para empezar el trabajo de encofrado, debe haberse terminado con las actividades de colocación de las armaduras de acero, de las instalaciones eléctricas y sanitarias en los muros, y contarse con el replanteo de estos elementos sobre la platea o losa, dependiendo del nivel a encofrar.

Si el encofrado es usado por primera vez se le da un tratamiento con cal o aditivo para *curar* la cara del encofrado que tiene contacto directo con el concreto. Si el encofrado ya ha sido usado se realiza la limpieza con viruta de acero y espátula con el objetivo que quede limpia y regular para recibir el desmoldante (*Ver Imagen N° 34 del Anexo 02*).

Con la habilitación culminada, se inicia fijando tacos de concreto sobre el acero vertical de la malla electrosoldada sobre toda el área a encofrar con el fin de mantener la separación entre el refuerzo y la cara interior de los paneles. La colocación de los elementos del encofrado inicia por las esquinas de la edificación. Sobre el trazo del replanteo de la esquina exterior se fija un *esquinero de muro* al cual se le une dos *paneles* a cada lado mediante *pasadores cortos* o *pasadores flecha*, dependiendo de los tipos de paneles, a los que se les clava una *cuña* para fijarlos. Esto se realiza con el fin de formar una escuadra para darle estabilidad a estos tres primeros elementos. Antes de colocar más paneles, en el lado libre de los paneles ya fijados al esquinero, por donde pasan los pasadores se insertan *corbatas* previamente enfundadas las cuales atraviesan al aislante térmico y llegan al otro lado del muro.

Figura 5.5. Elementos de encofrado (1 – 3)



Fuente: Propia

De forma simultánea en la esquina interior se fija otro esquinero de muro y a cada lado se colocan los paneles, contándose ya con la corbata insertada previamente. Por las perforaciones del panel se insertan los pasadores uniéndolos a los paneles y la corbata, para luego ser ajustados con las cuñas. La función de las corbatas es asegurar la separación de 10 ó 25 cm entre las caras interiores de los paneles y al mismo tiempo soportar la presión de vaciado del concreto. Se colocan en ellas las fundas para que facilitar su retiro y no queden ancladas en el concreto.

Figura 5.6. Elementos de encofrado (2 – 3)



Fuente: Propia

Luego de haber iniciado a instalar los paneles en la esquina se procede con el ensamblaje del encofrado de forma simultánea a cada lado del muro, es decir, por la parte externa e interna. (Ver Imagen N° 35 del Anexo 02). Se puede también iniciar el trabajo por la cara

interna de los muros para luego pasar al lado externo pero lo explicado anteriormente es lo recomendado.

Para el encofrado de los vanos de puertas y ventanas se coloca el *tapamuro*, panel especial para los marcos, unido mediante pasadores cortos a los paneles del muro. Con el fin de asegurar las medidas de los vanos se colocan tensores. En el caso de puertas se colocan en la parte inferior y solo cuando el vano llega hasta la losa también en la parte superior.

Para mejorar la alineación del encofrado a lo largo de los muros se colocan tanto en el exterior e interior *porta alineadores* entre los paneles del encofrado antes de colocar el pasador flecha. Instalado el porta alineador se coloca el ángulo alineador. Como sistema de apoyo para mantener la verticalidad del encofrado durante y luego del vaciado se usan puntales fijados al suelo y al encofrado. Además, para trabajos de altura se requiere contar con guardacuerpos, pasarelas o andamios los cuales se fijan al encofrado de muro antes de colocar el pasador flecha y fijarlo con la cuña.

Figura 5.7. Elementos de encofrado (3 – 3)



Fuente: Propia

Culminado el trabajo de muros se procede a instalar el encofrado de la losa (*Ver Imagen N° 36 del Anexo 02*). Para la unión estos dos elementos se usa un perfil conector llamado cuchilla disponible en dos formas: ángulo recto o perfil cornisa. Se coloca el *esquinero de losa* y después los paneles de losa asegurados mediante *pines grapa* y pasadores cortos

ajustados con cuñas (*Ver Imagen N° 37 del Anexo 02*). Donde el plano de modulación indique se instalarán *losas puntales*, un tipo de panel, y puntales verticales.

Las últimas actividades de la cuadrilla consiste colocar *diablo fuerte* en la base de los paneles y sellar aberturas con el fin de obtener un encofrado hermético que no permita la fuga de lechada de concreto. Cabe decir que el diablo fuerte es una mezcla de yeso, cemento y agua.

5.3.2.2 Desencofrado

Tanto para elementos verticales y horizontales el desencofrado de los paneles de aluminio se realiza a las 18 horas de la colocación del concreto. Sin embargo, los puntales y losas puntales del encofrado de los elementos horizontales se dejan por tres días según las recomendaciones del área de Calidad y del abastecedor de concreto.

Una vez retirados las cuñas, pasadores, porta alineadores, alineadores y los elementos de las pasarelas o guardacuerpos, los paneles se despliegan lentamente y se espera 15 minutos para evitar el shock térmico que pueda sufrir el concreto.

5.3.3 Concreto premezclado

El vaciado del concreto es la actividad que se realiza después que han sido colocados el acero de refuerzo, el encofrado, y las instalaciones eléctricas y sanitarias. Con el fin de documentar el cumplimiento de las especificaciones técnicas y de lo establecido en planos, se elaboran los protocolos de liberación para el vaciado. Es requisito también que la superficie a vaciar se encuentre limpia y nivelada, y que se garantice condiciones de seguridad óptimas.

Como en todo proyecto, es necesario determinar cómo el concreto debe ser suministrado, si por medio de una planta de concreto premezclado o de concreto preparado en obra. Debido a los volúmenes requeridos diarios según el avance estipulado en el planeamiento de tres solados, tres plateas y tres niveles de viviendas por jornada y por las características especiales de los concretos se optó por la solución de subcontratar a la empresa Unión de Concreteras S.A. (UNICON). Por la lejanía del proyecto a las ciudades, lo cual haría imposible un transporte de planta a obra, la única solución fue instalar una planta dosificadora de concreto en un área adyacente a la ciudad a construir.

El volumen de concreto premezclado requerido para la construcción solo de las edificaciones residenciales del proyecto resulta ser 46,314.49 m³. Cabe resaltar que en el cuadro siguiente se muestran los metrados por vivienda y por elemento; sin embargo, no se ha considerado el volumen concerniente al solado pues hasta cierta etapa de la construcción se usaba concreto hecho en obra con *carmix*. Posteriormente, se decidió cambiar este tipo de concreto por premezclado.

Tabla 5.4. Metrado de Concreto Premezclado

Elemento	Tipos de viviendas						
	1R	2R	2A	2B	2C	3A	3B
Platea	18.11	14.87	27.04	23.95	22.13	22.87	26.2
Muro y Losa 1er Piso	25.43	22.44	39.73	33.79	30.08	29.61	35.96
Muro y Losa 2do Piso	16.49	18.28	33.59	31.1	32.34	32.48	30.99
Muro 3er Piso	--	--	19.75	22.77	23.07	23.11	20.17
Escaleras	0.88	0.88	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78
Parcial	60.91	56.47	121.89	113.39	109.4	109.85	115.1
Cant. de viviendas	59	43	217	4	32	2	84
Total	3593.69	2428.21	26450.13	453.56	3500.80	219.70	9668.40
Total proyecto	46,314.49 m ³ de concreto premezclado						

Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Tal como se mostró en las especificaciones técnicas, el concreto incluye aditivo incorporador de aire; sin embargo, las mezclas de diseño contienen también aditivo plastificante y acelerante.

El aditivo incorporador de aire se ha diseñado en un 5% de la dosificación en volumen y es necesario debido a las características de clima frío tales como fluctuaciones severas de temperatura y ciclos hielo – deshielo. Estos fenómenos ocasionarían cambios volumétricos los cuales traen como consecuencia esfuerzos que se traducen en fisuras. Este aditivo adiciona al aire ocluido un volumen de aire que le confiere extensibilidad al concreto, es decir, los vacíos incorporados trabajan como rodamientos. No obstante, su desventaja principal es que reduce la resistencia del concreto.

En el caso del aditivo plastificante, o reductor de agua, este se usa para mejorar la trabajabilidad del concreto ya que convierte a la mezcla más fluida sin aumento de agua y sin disminución de resistencia. Esto es adecuado para evitar la formación de cangrejas en los muros debido a la elevada cuantía de acero y al uso del poliestireno, lo que reduce el área por donde el concreto puede fluir.

Finalmente, el aditivo acelerante es usado en el concreto debido a que permite acortar el tiempo de fraguado, tanto inicial como final, y acelera también la resistencia lo que en conjunto reduce el tiempo de desencofrado e implica un ahorro de los costos de construcción. Es adecuado también el uso de este aditivo por el clima frío de la zona.

5.3.3.1 Colocación

Como actividad anterior a la colocación del concreto en todos los elementos del casco estructural, las carpas de protección de las viviendas deben estar instaladas y si las condiciones climáticas lo ameritan, los calentadores de aire seco dispuestos en el área. Estos equipos y sus ventajas serán explicados de forma más detallada posteriormente. De forma similar, siendo en este caso obligatorio, antes de iniciar el vaciado, y llegado el concreto en *mixer* procedente de la planta dosificadora, se realiza el control de las propiedades del concreto fresco.

La velocidad programada de vaciado es de 10m³/hora, es decir, en una vivienda tipo 1R se espera que los trabajos en muro y losa se realicen en dos horas y media, lo que se evidencia en campo, donde el tiempo puede alargarse hasta tres horas debido en algunos casos a los tiempos de espera de cambio de mixers.

Durante el desarrollo de los trabajos para la colocación de concreto, es necesario llevar un control de seguridad riguroso para que se cumpla con las exigencias del cliente. Es por esto que una de las principales medidas de seguridad adoptada fue la utilización de caretas faciales y trajes *tyvek* para evitar cualquier tipo de contacto de la cuadrilla con el concreto.

Solado

- Concreto premezclado, $f'c=100$ kg/cm², cemento tipo I, slump de 2 1/2" a 4", agregado grueso Huso 57 y 5% de aire incorporado.

Para iniciar el vaciado del concreto debe de estar excavado el terreno al nivel -0.05m , no siendo necesario disponer de un encofrado; el área plastificada, evitando el contacto directo suelo – concreto; y colocadas planchas de poliestireno forradas con plástico en las zonas de las vigas de cimentación, para facilitar la posterior excavación en el terreno para estas vigas. Se deben contar también con los niveles para el acabado, de esta forma se asegura su espesor.

El proceso inicia descargando directamente del mixer mediante *chutes* una parte del volumen del concreto en una primera zona, extendiéndolo con lampa y rastrillos hasta cubrir toda esta primera área. Luego se realiza una descarga en otra zona contigua. Conforme se va esparciendo el concreto se empieza a nivelar con una regla de aluminio y se debe de verificar su altura con ayuda de los topógrafos, por lo que su presencia es permanente. Terminado este trabajo los albañiles van dando el acabado final y retiran los niveles de referencia. El mismo procedimiento se ejecuta en los tres puntos de descarga restantes. Ya que el espesor de este elemento es solo de 5cm y no se cuenta con acero de refuerzo, no es necesaria la compactación.

Platea de cimentación

- Concreto premezclado, $f'c=280\text{ kg/cm}^2$, cemento tipo I, slump de $2\ 1/2"$ a $4"$, agregado grueso Huso 57 y 5% de aire incorporado.

De forma similar al solado, se divide el área de vaciado en cuatro zonas empezando por la más alejada de la ubicación del mixer por lo cual es necesario el uso de *chutes*. Si las condiciones lo requieren el vaciado puede ser realizado con bomba pluma. A diferencia del elemento anterior, su espesor es de 20cm e incluye vigas de cimentación de 40 ó 60cm de peralte, que junto al acero de refuerzo implica que el vibrado del concreto sea necesario conforme ha sido esparcido en un área. Terminado el vibrado se inicia la terminación a la superficie de la platea, procedimiento que será detallado en el caso de las losas por ser el mismo. Así mismo, se lleva un control de los niveles de este elemento.

Finalizado el proceso de fraguado del concreto, se aplica a la platea curador químico *Bro-cure* concentrado de *Nox-crete* mediante el uso de una mochila pulverizadora. El curado se realiza en toda el área de la platea de forma homogénea aplicando solo una capa del químico.

Muro – losa

- Concreto premezclado, $f'c=280$ kg/cm², cemento tipo I, slump de 6" a 8", agregado grueso Huso 67 y 5% de aire incorporado.

El vaciado muro – losa es el trabajo final realizado en un nivel de una vivienda, con excepción de las escaleras. Por las características del encofrado el vaciado se realiza de manera monolítica entre muros y losa, por lo que solo se emplea un tipo de concreto. Todos estos trabajos de colocación se realizan por medio de una bomba de concreto tipo camión pluma. Cabe resaltar que es necesario que el abastecimiento de concreto sea constante debiendo llegar los mixer y los camiones pluma con anticipación a la vivienda a vaciar.

Esta etapa de la construcción del casco estructural es uno de los trabajos que se realiza con mayor cuidado debido a los problemas característicos que se presentan en los concretos de los muros de ductilidad limitada y en las losas debido en gran parte a sus pequeños espesores. Aunque los muros perimetrales sean de 25cm estos se encuentran separados por el aislante de 5cm de espesor, lo que los convierte en un muro de ductilidad limitada convencional de 10cm.

Los problemas del concreto en los muros se agravan por el hecho que el poliestireno expandido no es lo suficientemente rígido para resistir los esfuerzos ocasionados por la velocidad de vaciado desde la altura de la losa y por la presión del concreto una vez colocado, por lo que tiende a flexionarse. Para evitar esto, se coloca el acero de sostenimiento tal como se mostró anteriormente; sin embargo, si el proceso de colocación no se realiza adecuadamente se presentarán defectos, los cuales serán mostrados más adelante. Es así que la secuencia de vaciado se realiza por tramos y por capas facilitando además los trabajos de compactación.

Semejante a la platea, todos los trabajos previos deben estar concluidos, incluyendo el desplazamiento del toldo de la carpa hacia un lado, si este ya fue instalado, para facilitar el desplazamiento de la manguera telescópica de la bomba. Ya que los muros se vacían sobre el concreto fraguado y curado de la platea o losa es requisito limpiar con agua todo residuo, incluyendo las membranas de curado.

La colocación del concreto empieza en un punto intermedio o inicial de la cara interior de un muro perimetral en una primera capa aproximada de 50cm de altura, para que después, de forma inmediata, se llene la cara exterior evitando de esta forma la presión del concreto solo por un lado del aislante. Esto significa que el proceso de vaciado de muros es alternado y por tramos.

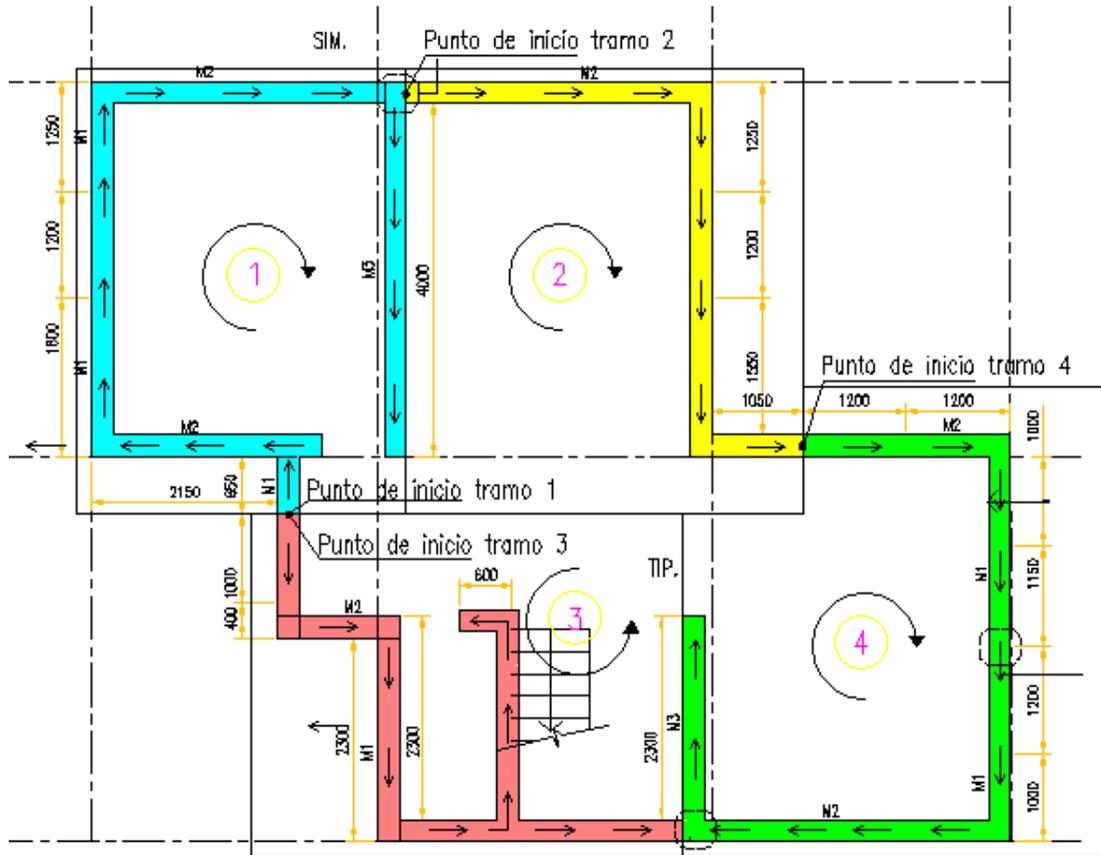
En seguida, se desplaza la manguera de la bomba a lo largo de los muros que conforman el primer tramo para permitir su llenado, recordando que debe de realizarse de un lado a otro respecto al aislante. Conforme se va colocando el concreto se realiza la compactación con dos vibradores tipo aguja de 1" de diámetro de alta frecuencia y además con ayuda de dos martillos de goma, los cuales golpetean de forma continua el encofrado por el exterior de tal forma de disminuir y encontrar las zonas vacías de concreto. Con la primera capa del primer tramo vaciada se procede de forma similar con las siguientes tres capas de 60cm de altura aproximada hasta llenar la altura total del muro. Completada la etapa de colocación del concreto en muros se vacía la losa correspondiente a este tramo y el posterior vibrado.

Terminada esta etapa inicial del vaciado, se realiza la colocación del concreto en los tramos restantes, siguiendo la secuencia de vaciado por capas en muros, y luego el vaciado en la losa correspondiente. La altura de las capas corresponde a la necesidad de contar con un vaciado que permita que el concreto llegue a ocupar por completo todo el interior del encofrado embebiendo a los aceros sin desplazar a los diversos componentes como separadores y aislante.

Lo descrito anteriormente se esquematiza en la Figura 5.8 donde se establecen los tramos considerados, se fijan los puntos de inicio así como el sentido del recorrido del vaciado para los muros y las losas. En este caso, lo presentando corresponde a las viviendas tipo 1R, que para los vaciados de concreto se compone de cuatro tramos y cuatro capas.

La Figura 5.9 representa un vaciado característico de una vivienda que cuenta con la carpa instalada para aislar el concreto de las condiciones ambientales del exterior. En este caso, el toldo de la carpa está colocado por completo sobre la vivienda. Se permite ubicarlo a un lado solo si durante y previo al vaciado no existen condiciones de clima severo.

Figura 5.8. Secuencia de vaciado de concreto en Vivienda 1R



Fuente: Obra 1728 - G y M S. A

Figura 5.9. Vaciado mediante bomba de muros y losas del primer nivel de una vivienda con carpa instalada



Fuente: Propia

Es importante subrayar que el recorrido del vaciado de los tramos debe empezar en un muro perimetral y debe terminar en un muro interior o en otro perimetral tal como se observa en el gráfico anterior. No debe iniciarse por un muro interior que llegue a un muro exterior perpendicular a este pues el concreto vaciado del primer muro presionará a la plancha de poliestireno del segundo, lo que ocasionará un desplazamiento de la armadura y del aislante, formando un grave defecto en el concreto.

Para el caso de los muros del último nivel de una vivienda, el procedimiento establecido es similar, la diferencia radica en el hecho que no existe vaciado de la losa pues corresponde a este nivel una cobertura metálica.

La cuadrilla a cargo de la colocación del concreto en muros y losas es la siguiente:

- 1 capataz concretero
- 1 operario en manguera de bomba
- 2 operarios en vibrador y 2 ayudantes de vibrador
- 2 oficiales en martillo de goma

Conforme se va terminando el vaciado de concreto, se realiza la limpieza exterior del encofrado con ayuda de una hidrolavadora la cual expulsa un chorro de agua a presión retirando los residuos de concreto (*Ver Imagen N° 45 del Anexo 02*). Para facilitar el trabajo previamente se limpia con espátula.

Cuando el concreto empieza su proceso de fragua inicial, el cual puede variar de 6 a 8 horas luego del vaciado cuando la temperaturas son bajas, se realiza el proceso de terminación de las losas, y de las plateas, realizando un control topográfico y trabajos de regleado, para luego realizar el frotachado de la superficie. Debe de transcurrir un tiempo adecuado para que el concreto continúe con su proceso de fraguado tal que obtenga una dureza superficial que permita realizar el planchado para dejar la superficie terminada. Esta etapa de trabajo tiene una duración aproximada de 4 a 6 horas, dependiendo de las condiciones del clima.

Terminado este trabajo se procede a realizar el curado la losa, siguiendo el mismo procedimiento descrito en las plateas. En el caso de los muros, el proceso de curado inicia luego de 10 a 15 minutos del desencofrado, procedimiento que se realiza a las 18 horas de la colocación del concreto, ya que los elementos de concreto deben aclimatarse al ambiente. El trabajo se realiza mediante el mismo curador químico de las plateas,

siguiendo la secuencia del desencofrado y se realiza de arriba hacia abajo de forma homogénea en toda el área del elemento aplicándose solo una vez.

Escalera

- Concreto premezclado, $f'c=280$ kg/cm², cemento tipo I, slump de 6" a 8", agregado grueso Huso 67 y 5% de aire incorporado.

Para su vaciado es necesario que las zonas de arranque platea – escalera, o losa – escalera, y entrega escalera – losa, sean cubiertas con resina epóxica, debido a que el concreto de esas zonas ya se encuentra fraguado, para mejorar la adherencia entre los concretos. Una vez puesto el químico se dispone de hasta media hora para realizar la colocación del concreto tal que no se pierdan sus propiedades.

El proceso inicia vaciando el concreto del extremo superior hacia el arranque para luego realizar el posterior vibrado. Fraguado el concreto se aplica una membrana de curado, siguiendo el mismo procedimiento luego del desencofrado.

5.3.3.2 Generación de microclima para el concreto

Para proteger el concreto de las condiciones ambientales se debe cumplir con lo dispuesto en la norma ACI 306R – Cold Weather Concreting – en el cual se señala que es necesario contar con algún sistema de aislamiento para proteger a la construcción del frío, y, adicionalmente, de las lluvias. La solución adoptada en el proyecto consistió en instalar coberturas temporales que permiten cubrir la edificación, junto a calentadores de aire seco. Cabe señalar que también pudo optarse por aislar el encofrado recubriendo su superficie exterior con algún material adecuado para este fin como lana de vidrio.

Uso de carpas y calentadores de aire directo

Una carpa de protección está compuesta por una estructura de madera que en el caso de su uso en solados y plateas está empotrada al suelo, mientras que si su uso es para muros y losas está sujeta a los guardacuerpos, plataformas o encofrado metálico de los muros. Una vez armada esta estructura permite instalar sobre ella un toldo de lona plastificada, conocido como *plastilona*, para cubrir toda la edificación a vaciar, desde el suelo hasta por encima del último nivel, formando así un ambiente aislado. Estas carpas son parte fundamental del proceso constructivo de las viviendas pues cumplen dos funciones importantes para la protección del concreto.

Como primera función, permiten proteger al concreto vaciado de las fuertes precipitaciones características de la zona del proyecto. Estas precipitaciones dañan al concreto excediéndolo de agua en su superficie lo que ocasiona en una variación de la relación agua – cemento, es decir, reduciendo su resistencia; y al mismo tiempo, no permitiendo realizar los trabajos de nivelación y acabado, o deteriorarlo hasta al punto de dejar toda su superficie irregular. En este último caso si los daños no son sustanciales se necesitan trabajos de reparación del concreto o, caso contrario, se procede a realizar un nuevo vaciado previa eliminación del elemento. Queda claro que esto implica un costo adicional que queda a cargo del contratista.

Como segunda función de protección, este sistema de carpas junto a los calentadores de aire directo, conocidos como dragones, los cuales son instalados dentro de ellas, permiten generar un microclima que aísla su interior, en el cual se encuentra los elementos vaciados, de las condiciones climáticas existentes en el exterior. Con el uso de carpas y el número de calentadores adecuados se asegura cumplir con dos requisitos de temperatura importantes para el concreto.

En primer lugar, permite mantener una temperatura del concreto superior a 5°C, temperatura que es límite para iniciar la colocación del concreto y que debe ser sostenida durante su proceso de fraguado y curado. Debido a que bajas temperaturas disminuyen e interrumpen el proceso de reacción entre las partículas del cemento y del agua, el concreto retarda su tiempo de fragua inicial y de fragua final. Si las temperaturas descienden aún más, el proceso de fraguado no es completado lo que implica que el concreto no desarrolla la resistencia especificada.

En segundo lugar, permiten además evitar un alto gradiente de temperatura entre el interior del concreto y la temperatura ambiente. Debido al proceso de hidratación del cemento, se produce una reacción química exotérmica, conocida como calor de hidratación, la cual aumenta la temperatura al interior del concreto, mientras que en su superficie el elemento se encuentra expuesto a la temperatura ambiente, siendo en esta última menor a la primera. A pesar que el concreto de las viviendas no es considerado como concreto masivo por las dimensiones de los elementos de las edificaciones se lleva un especial cuidado con el gradiente térmico pues estos diferenciales de temperaturas pueden traer consigo fisuras.

El microclima es generado luego del vaciado del concreto hasta los tres días siguientes si las condiciones climáticas lo ameritan. Ya que los vaciados se programan durante el día donde la temperatura difícilmente cae por debajo de 5°C, se aproxima pero no llega a disminuir de este valor, antes del vaciado no es necesario su uso. Si sucediera que durante el día la temperatura está debajo de lo especificado, el vaciado programado se cancela; además, no se permite usar el calentador antes del vaciado porque emite gases tóxicos. En resumen, siempre se usan las carpas y están dispuestos los dragones pero no siempre se encienden estos. Para ver el momento en que estos calentadores deben iniciar a funcionar se lleva un continuo control de la temperatura.

Cabe nombrar que el calentador de aire seco usado es el modelo *HD 38* de la marca *Wacker Neuson* cuyo funcionamiento consiste en generar aire caliente mediante un quemador de combustible y lo expulsa por medio de un ventilador eléctrico. Ya que los gases que emite son tóxicos se necesita de la suficiente ventilación y el personal eléctrico a cargo de su operación usa mascarillas de doble filtro. Dado el arranque al equipo, se direcciona la corriente de aire caliente que emite hacia la vivienda, siendo la temperatura mínima a graduar en el termostato del calentador 28.4°C. A partir de este momento, se restringe el acceso al interior de la carpa.

Figura 5.10. Calentador de aire seco modelo HD 38 – Wacker Neuson



Fuente: Manual de Operación HD 38, 49, 69 – Wacker Neuson

Control de temperatura

Para conocer que las temperaturas no se encuentran por debajo de lo especificado anteriormente se lleva un constante control de ellas. Esto se realiza mediante medición directa de los ambientes al interior de la carpa, del exterior y del concreto vaciado; además, se toma nota de los eventos importantes relacionados al clima.

- *Control de temperatura del concreto*

El procedimiento consiste en tomar en cuatro puntos la temperatura del concreto vaciado, debiendo estos estar distribuidos en toda la vivienda. Para el registro se toma el promedio de ellos. La medición se realiza con termómetro de vástago de metal lo que permite insertarse dentro del concreto a una profundidad de 10cm.

- *Control de temperatura del microclima*

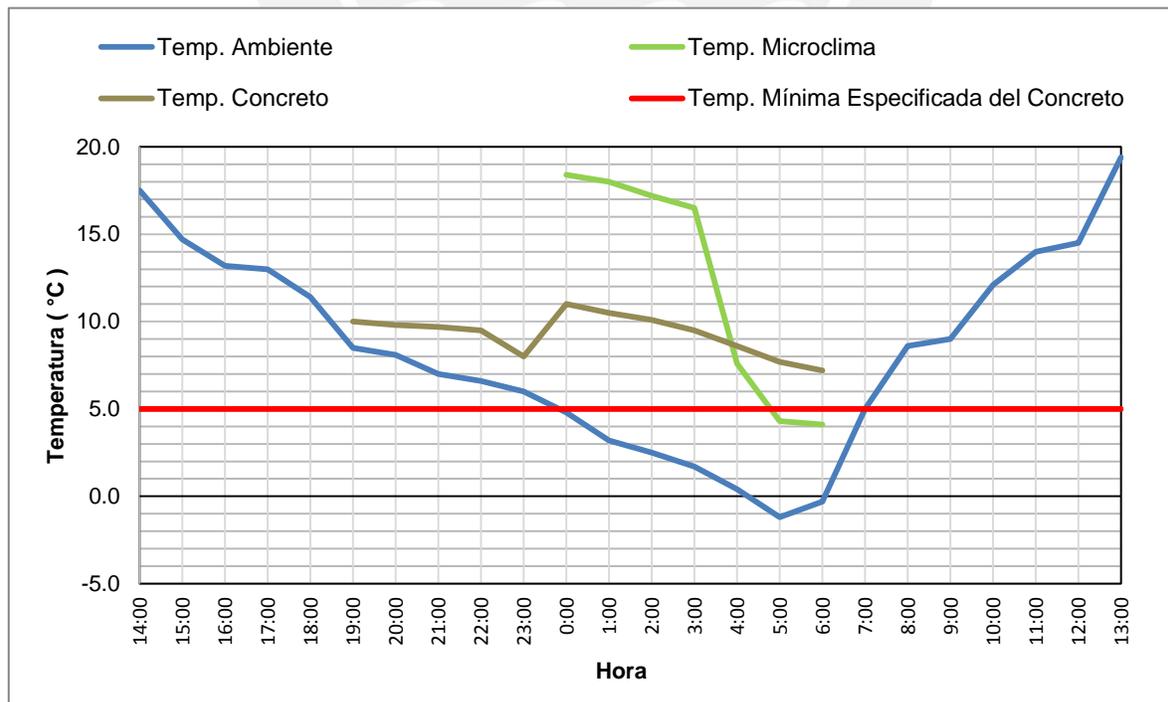
El procedimiento consiste en tomar mediante medición directa la temperatura del ambiente al interior de la carpa para verificar el microclima generado por los dragones.

- *Control de temperatura del ambiente exterior*

Similar al control anterior, la medición de la temperatura del ambiente es directa.

A continuación se muestra el registro de los controles descritos anteriormente del vaciado de los elementos muro y losa del segundo de nivel de una vivienda el día 10 de julio del 2012. La hora en la que culminó el vaciado fue pasada las 6 de la tarde.

Figura 5.11. Registro de temperaturas del concreto, microclima y del ambiente exterior



Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Del gráfico, se puede observar que cercana a la media noche la temperatura del concreto y la del ambiente seguía decreciendo acercándose a la mínima permitida, por lo que se procedió a encender los dragones iniciando la generación del microclima. En consecuencia, la temperatura al interior de la carpa y la del concreto aumentó.

Mantenida la temperatura del microclima, a las 3am los dragones se apagaron por lo que dicha temperatura en la hora siguiente bajó drásticamente pero sin llegar a 5°C; de forma contraria, la del concreto disminuyó ligeramente. No se volvieron a encender los dragones por el hecho que a partir de las 5 a 6 primeras horas del día es característico que la temperatura ambiente empieza a subir notoriamente trayendo como resultado que la temperatura del concreto esté por encima de lo mínimo especificado.

5.4 DEFECTOS EN EL CONCRETO DE LAS VIVIENDAS

Presentadas las actividades más relevantes en la construcción del casco estructural, se procede a mostrar los principales defectos relacionados al concreto de las viviendas, tanto por las características propias del sistema estructural de ductilidad limitada, así como las correspondientes al uso del aislante térmico y el encofrado. En general, las condiciones del clima del proyecto son de impacto en el concreto si es que se omite el uso de los generadores de aire al interior de las carpas generadoras del microclima.

Sean los defectos superficiales o de trascendencia estructural estos deben de ser reparados con el fin de contar con una superficie adecuada para el acabado final o para asegurar el comportamiento estructural del elemento dañado. El comité ACI 309.2R-98 clasifica cada uno de los defectos del concreto; sin embargo, a continuación se muestra aquellas que han sido considerados de mayor relevancia por su procedimiento de reparación.

5.4.1 Cangrejeras y segregaciones

Descripción

Espacios vacíos en un elemento de concreto que debió ser llenado de forma continua y homogénea, respetando espaciamientos y recubrimientos. Puede implicar problemas estructurales si su tamaño es considerable. La segregación se identifica por la exposición del agregado grueso sin presencia de mortero a su alrededor, dejando una superficie irregular.

Figura 5.12. Segregación de un muro de ductilidad limitada



Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

La cangrejera se caracteriza por ser áreas sin concreto ni agregados, son espacios totalmente vacíos; y generalmente, permite observar el acero y el aislante térmico.

Figura 5.13. Cangrejera en muro perimetral con exposición de acero y aislante térmico



Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Análisis de causas y cambios adoptados

Estos defectos del concreto son resultado de una combinación de diversos factores tales como una inadecuada distribución y fijación de los separadores del aislante y del encofrado lo que evita que el flujo del vaciado del concreto sea directo, tendiendo a interrumpir su paso. Otros de los factores que influyen en su formación es la relacionada a la mezcla del concreto y a la altura de vaciado.

En el caso de la mezcla de concreto, las cangrejas y segregaciones se presentaron debido a la uniformidad de los agregados y por tener un slump no adecuado a las características de cuantía de acero y a la presencia de aislante en los muros. Encontradas estas causas se rediseñó las mezclas de concreto con un slump mayor y con agregados de menor uniformidad.

Se halló también que el equipo usado para la compactación del concreto era también una causa de las cangrejas por lo que se decidió cambiar el diámetro del vibrador tipo aguja de 1.5" a 1" de alta frecuencia. Esta mejora junto a un continuo golpeteo de los martillos de goma permiten eliminar vacíos en zonas profundas y de alta congestión de refuerzo, por lo que se realiza una mejor compactación. Finalmente, para evitar estos problemas es determinante seguir el procedimiento de vaciado intercalado, por capas y por tramos.

En el caso específico de las segregaciones estas son ocasionadas en muchos casos por la filtración de lechada del concreto debido a cierres no herméticos en los encofrados.

Procedimiento de reparación

El procedimiento de reparación depende de la magnitud de la cangrejera o segregación, para lo cual se siguen dos procedimientos, ambos debiendo iniciar hasta 48 horas luego del desencofrado de la zona dañada. Si es que ha pasado más de 28 días desde el vaciado hasta la reparación debe de aplicarse una capa de resina epóxica *Euco 452 MV* para permitir la adherencia entre el concreto y el mortero a colocar.

- *Daños mayores: Reparación cuando la profundidad es mayor a 5cm y se presenta exposición de la armadura de acero.*

Se procede a retirar el concreto de la zona dañada y de las barras de acero expuestas hasta que estas se encuentren libres de concreto en toda su superficie. Luego se da al concreto defectuoso un acabado rugoso y se limpia la zona a reparar. Si el aislante térmico se encuentra dañado se procede a cortar la sección a cambiar y se coloca en franjas el poliestireno nuevo. Como parte final de esta primera etapa se humedece el concreto 24 horas antes a la aplicación del mortero para que llegue al estado saturado superficialmente seco, cubriendo un área hasta de 6" alrededor del concreto defectuoso.

La siguiente etapa consiste en ubicar el encofrado de madera sobre el área a reparar dejando solo en la parte superior una *cachimba*, y se vacía mortero *NS Grout* dosificado con agua. Este proceso debe terminarse en 90 minutos.

La temperatura del mortero debe oscilar entre 10° y 30°C como mínimo por 24 horas, tiempo de fraguado final. En caso la temperatura sea menor se genera un microclima con las carpas. Luego de este tiempo se procede a retirar el encofrado y a escarificar el mortero en la zona de la *cachimba* para posteriormente darle un acabado final y curarlo con membrana. Cabe señalar que si se desea puede dosificarse el mortero con gravilla de 3/8", o en caso la profundidad de la cangrejera está entre 5 y 20cm con gravilla Huso 89.

- *Daños menores: Reparación correspondiente cuando la profundidad es menor o igual a 5cm y no se presenta exposición de la armadura de acero.*

El procedimiento inicia retirando el concreto de la cangrejera o segregación hasta llegar a concreto sano. Luego se escarifica y limpia la zona. Posteriormente se aplica una lechada del mortero cementicio *Verticoat* y luego se coloca la primera capa vertical del mortero de la misma marca, cuyo espesor debe estar entre de 6 a 25mm. Para colocar la siguiente capa debe de esperarse que el mortero endurezca. El curado consiste en humedecer la zona reparada por un día como mínimo.

Sea un daño mayor o menor, en caso existan tuberías de instalaciones expuestas se procede a picar el muro tal que permita ubicar a las tuberías con un recubrimiento mínimo de 2.5cm hacia la cara exterior del muro. Para verificar su adecuado funcionamiento, se realizan nuevamente las pruebas de presión, si estas son parte de las instalaciones sanitarias, o una prueba visual, si son parte de las instalaciones eléctricas.

5.4.2 Burbujas

Descripción

Cavidades pequeñas formadas por el atrapamiento de aire o agua, o una combinación de ambas, que no llega a ser expulsado durante la compactación del concreto y son visibles luego del desencofrado. Este defecto se caracteriza por presentar cavidades, en sistemas de construcción de encofrado metálico y concreto premezclado con aditivos, de 6mm como diámetro promedio y de 10mm como diámetro máximo.

Figura 5.14. Presencia de burbujas en el concreto de un muro perimetral



Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Análisis de causas y cambios adoptados

El encofrado conformado por formaletas de aluminio al estar en contacto con el concreto genera óxido de aluminio, formando burbujas en su superficie. Adicionalmente, si el desmoldante del encofrado no es previamente batido y aplicado correctamente a las formaletas puede llegar a convertirse en una causa directa de este defecto.

Ya que el concreto usado lleva en su mezcla aditivo incorporador de aire se encontró que esta era una de las razones directa de la presencia de burbujas en el concreto por lo que se decidió cambiar la marca del aditivo y su dosificación de 0.8ml/m³ a 0.1ml/m³, pero respetando el requerimiento mínimo de clima frío de la mezcla.

Se encontró además que las causas de la formación de burbujas relacionadas al procedimiento de vaciado del concreto y a su asentamiento de diseño eran las mismas de las cangrejeras. Los cambios adoptados en estos aspectos fueron ya descritos anteriormente.

Procedimiento de reparación

En el proyecto se ha optado por establecer como límites para considerar a las burbujas como un defecto superficial un diámetro máximo de 15mm y una profundidad de 10mm pues en estos casos no se ve afectado el recubrimiento y los trabajos de resane se pueden realizar rellenando los vacíos con lechada de cemento o emporrando las burbujas.

En caso las burbujas excedan los límites presentados anteriormente, el proceso para la reparación de este defecto superficial debe de realizarse siguiendo el mismo procedimiento descrito para la reparación de daños menores de cangrejeras y segregaciones. En resumen, agrandamiento del área alrededor de la burbuja, humedecimiento de la zona, colocación del mortero cementicio y curado.

5.4.3 Fisuras y grietas

Descripción

Aberturas longitudinales presentes en el concreto debido a sollicitaciones tempranas, sobreesfuerzos o a cambios volumétricos característicos de este material. Se consideran como fisuras aquellas que tienen un ancho menor a 1mm y como grietas a aquellas que tienen un ancho mayor o igual a 1mm.

Generalmente, las fisuras afectan la apariencia del concreto y brindan un aspecto inseguro por lo que deben de ser reparadas.

Figura 5.15. Presencia de fisuras en losa



Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

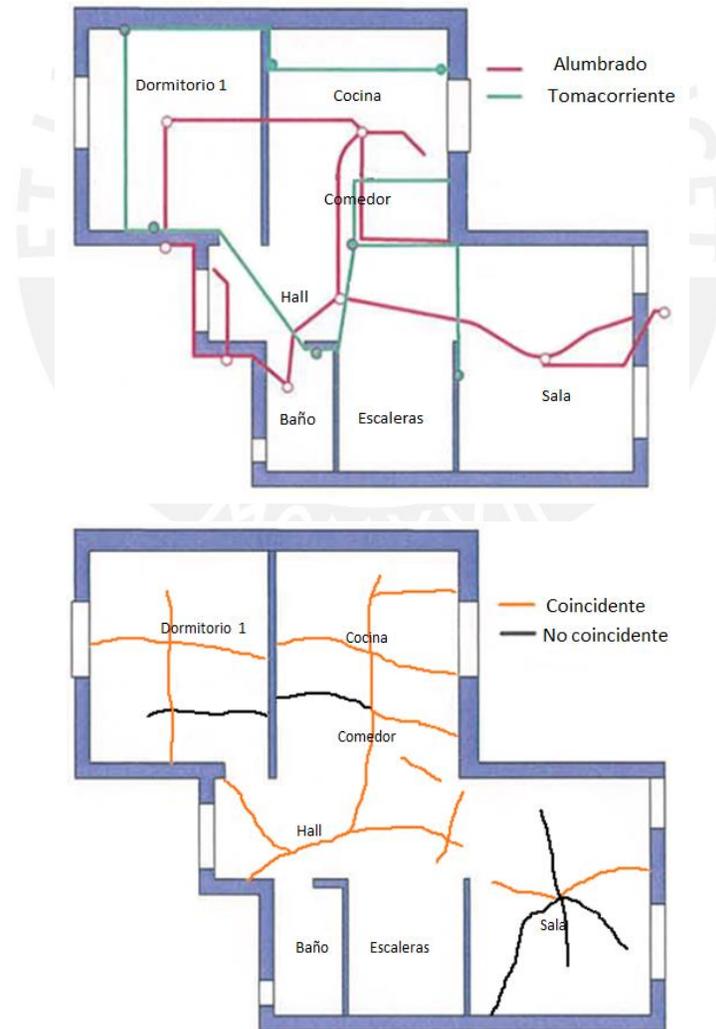
Análisis de causas y cambios adoptados

Entre las posibles causas de la formación de fisuras tenemos un temprano desencofrado y retiro de los puntales centrales en luces grandes sin que el concreto haya alcanzado la resistencia mínima adecuada para este fin. También las fisuras pueden generarse por la ausencia de fierro de temperatura en las losas de las viviendas, pues este no se especifica, y por el recorrido de las tuberías de las instalaciones embebidas.

Las condiciones climáticas pueden ser una causa de fisuras sobre todo en las primeras viviendas vaciadas del proyecto ya que no se les daba el aislamiento térmico otorgado por las carpas y calentadores. El lento desarrollo de la resistencia en estos casos sumado a un pronto desencofrado característico del proceso constructivo pueden generar este defecto. Posteriormente, con la implementación del microclima de ser una causa directa.

Luego de un análisis de las viviendas con presencia de fisuras, se encontró que prácticamente la totalidad de ellas se encontraban en las losas y que el recorrido de las tuberías de las instalaciones eléctricas coincidía con el recorrido de las fisuras en 80% en promedio. Se presenta esquemáticamente lo descrito para una vivienda tipo 1R.

Figura 5.16. Recorrido de las instalaciones eléctricas y fisuras en losas en una vivienda tipo 1R



Fuente: Obra 1728 - G y M S. A.

Evaluando el procedimiento de colocación de las instalaciones se encontró que las tuberías se colocaban por debajo de la malla de refuerzo amarrándolas mediante alambre en algunos puntos de su recorrido, por lo que por tramos la tubería se flectaba dejando un recubrimiento menor en la zona de tracción del concreto. En algunos casos el amarrado se hacía incorrectamente lo que acentuaba este problema de fisuramiento. Como modificación se estableció que las tuberías pasen por encima de las mallas y amarradas a ellas, por lo que se reportó una disminución sustancial de este defecto. Las fisuras que se presentaron luego se deben a la contracción por secado, proceso característico del concreto.

Procedimiento de reparación

El procedimiento seguido para la reparación de una abertura en el concreto depende si estas son fisuras o grietas. De forma práctica, se realiza a las losas una prueba de impermeabilidad, en la cual la losa a evaluar es inundada con agua y en el nivel inferior se verifica si existe filtración. Por donde traspasa el agua, estas son las zonas donde existen aberturas a reparar.

- *Fisuras: ancho menor a 1mm*

En este caso ya que las aberturas no son estructurales no se les da un tratamiento especial. Solo se procede a cubrirlas en el momento de aplicar la pintura con el empaste propio de este material.

- *Grietas: ancho mayor o igual a 1mm*

El procedimiento inicia agrandando la grieta mediante medios mecánicos hasta darle la forma de “U” o “V” para posteriormente limpiar toda la zona. Luego, se humedece la superficie regándola hasta que llegue al estado saturado superficialmente seco. Una hora después, se aplica *Sikadur 32* como puente de adherencia, se rellena el corte inducido con mortero de cemento Portland puzolánico tipo IP. Transcurridas dos horas, como mínimo, la superficie ha fraguado y se procede a aplicar curador químico para finalmente proteger la zona resanada con cinta.

6. PRODUCTIVIDAD DE OBRA

6.1 CONCEPTO E IMPORTANCIA

La productividad en la construcción es definida como la eficiencia en el uso de los recursos. La mano de obra y los equipos son los principales recursos en los cuales se evalúa constantemente la productividad. Dependiendo del tipo de proyecto que se esté ejecutando, la productividad y su control serán más rigurosos sobre alguno de dichos recursos. Por ejemplo, en una obra de movimiento de tierras masivo, la productividad de los equipos es trascendental mientras que la productividad del recurso mano de obra no lo es como en un proyecto de edificaciones.

El costo y plazo de ejecución de una obra dependen directamente, entre otras variables, de la productividad, de su control y de las acciones correctivas ante desviaciones en la eficiencia de los recursos. En un proyecto de construcción como el expuesto, la velocidad de avance de los trabajos de las cuadrillas es influenciada por aspectos como el clima, por paralizaciones por lluvias y granizadas; el entorno social, por paros y huelgas de comunidades; la ejecución de un procedimiento constructivo nuevo, viviendas con aislamiento térmico; por la misma mano de obra, por paros y huelgas sindicales; y por el tipo de proyecto, régimen de trabajo de la mano de obra de veintidós días laborables con siete días de descanso. Todos estos factores traen como consecuencia que los trabajadores no desarrollen la curva de aprendizaje a una velocidad similar de un proyecto en ciudad y que la productividad esperada sea complicada de alcanzar.

Debido a que el proyecto es manejado con una gestión Lean, es necesario mencionar los objetivos de este tipo de gestión: flujos continuos, flujos eficientes y procesos eficientes. El presente capítulo, es enfocado en el tercer punto para lo cual es usada diversas herramientas de optimización y control con el fin de hacer más eficientes los procesos en obra. Inicialmente, se presentan y definen las herramientas para controlar y evaluar la productividad. Posteriormente, se realiza un análisis de una de las herramientas para las partidas: acero y aislante, encofrado y concreto. Paralelo al análisis, se plantean propuestas para la mejora de la productividad de dichas partidas.

6.2 HERRAMIENTAS DE CONTROL Y EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

El estudio y análisis del trabajo para la mejora de la productividad requiere de métodos de muestreo tales como las herramientas Carta balance y Nivel de general de actividades los cuales buscan principalmente aumentar la cantidad de trabajo productivo. Para controlar y detectar desviaciones de la productividad se emplea en este proyecto el Índice de productividad, el cual es detallado en el presente capítulo. Sea por medio de estudios de trabajo como los nombrados anteriormente o por medio de un control de la productividad a través de la tercera herramienta, luego de evaluar y analizar la eficiencia en el uso de los recursos se deben de establecer propuestas de mejora en las partidas evaluadas con el fin de alcanzar la productividad meta. Lo presentado se centra en el recurso mano de obra, el cual es el recurso crítico en este frente de producción de viviendas.

Para toda evaluación y estudio de la productividad, es necesario clasificar y definir los trabajos de producción:

- Trabajo productivo (TP): Trabajo que aporta directamente a la producción agregando valor.
- Trabajo contributorio (TC): Trabajo necesario para la realización del trabajo productivo pero que no agrega valor.
- Trabajo no contributorio (TNC): Trabajo que no es productivo ni contributorio.

6.2.1 Carta balance

Es una herramienta que ayuda a describir y analizar los procedimientos o métodos usados en cierto proceso permitiendo conocer si la cuadrilla se encuentra balanceada en cantidad. Además es un medio para saber el rendimiento de la mano de obra. La principal ventaja al usar esta herramienta es la identificación de los tipos de trabajo por obrero y los tiempos empleados. La carta balance busca medir la eficiencia del método constructivo más que la eficiencia de los obreros.

6.2.2 Nivel Generales de Actividad

Es una herramienta de control que permite determinar la distribución de los trabajos descritos anteriormente en determinado momento del día de forma general de toda la obra o de un sector de ella. Los trabajos en obra se observan aleatoriamente.

6.2.3 Índice de Productividad (IP)

Llamado también ratio de productividad, es un indicador numérico de qué tan eficientemente está siendo utilizado el recurso mano de obra en determinada actividad. El IP puede estar expresado en las siguientes unidades: HH/m³, HH/m², etc.

En la etapa presupuestal del proyecto, con la elaboración de los análisis de precios unitarios se conocen los IP de las partidas y se establecen cuáles serán las partidas de control del proyecto. Si es necesario, en la etapa de arranque de obra estos ratios son reajustados y son llamados IP meta los cuales son los puntos de comparación con los ratios de las partidas resultantes de la ejecución de la obra.

Durante el desarrollo del proyecto, se calculan los IP diarios mediante la división de la cantidad de recursos utilizados, en este caso horas hombre de la cuadrilla, entre el metrado realizado en la jornada. Con la medición diaria, se calculan los IP semanales y son presentados y analizados en la reunión de los ingenieros de producción. Estos valores se comparan con los IP acumulado y con los IP meta y, si no está en el rango previsto, se toman medidas correctivas para mejorarlo.

6.3 ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD

El análisis de la productividad en obra se centra en las partidas más influyentes del casco: acero de refuerzo, aislamiento térmico, encofrado y colocación de concreto. A continuación se presenta las mediciones y análisis realizados entre las semanas 15 y 35.

6.3.1 Acero de refuerzo y Aislamiento térmico

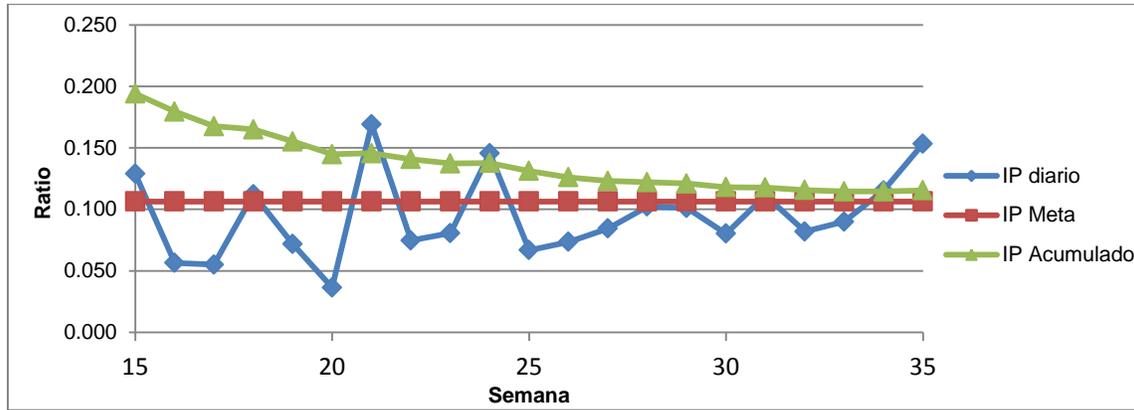
Análisis del IP

Para estas actividades el análisis es desarrollado independientemente, respetando también el listado de partidas del proyecto. Ambas actividades cuentan con su IP meta, los cuales sirven de referencia para orientar las mejoras con el fin de alcanzar y mejorar la productividad en cada una de ellas.

Los valores de IP semanal del acero analizados se muestran en la Figura 6.1 y han sido obtenidos posterior a la fecha del cambio de varillas a malla electrosoldada. El valor del IP meta para el acero de refuerzo es de 0.107 HH/kg e incluye habilitación y colocación. En general, los valores tienden a estar por debajo de este aunque en algunas semanas no se

logra la productividad establecida, lo que es evidencia de alta variabilidad. El IP acumulado aún no alcanza el IP meta por lo que el objetivo de eficiencia falta alcanzar.

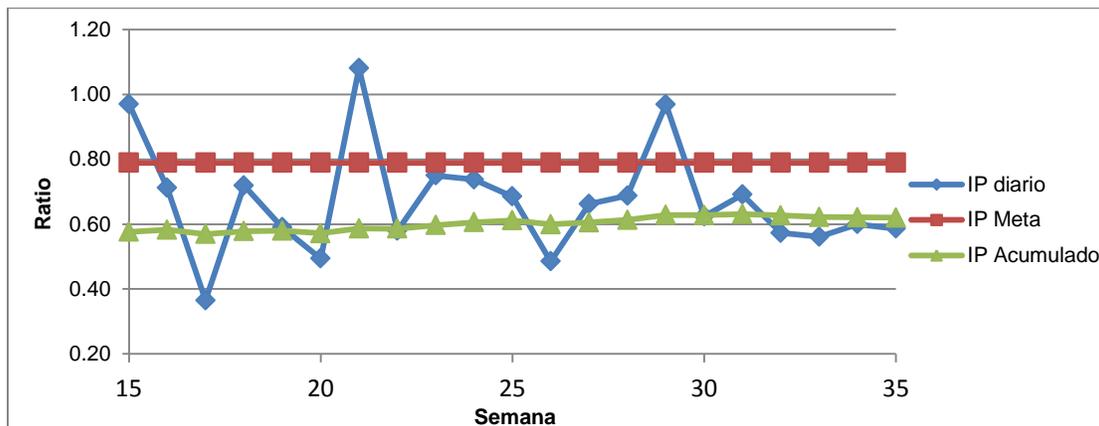
Figura 6.1. IP Acero: Semana 15 a 35



Para el aislante térmico el IP meta es 0.79 HH/m² e incluye habilitación y colocación del aislante en los muros perimetrales de las viviendas. Las cuadrillas encargadas de esta actividad son las mismas que realizan la colocación del acero.

La Figura 6.2 muestra los resultados obtenidos para los IP de aislamiento. En este caso se observa que los ratios obtenidos presentan mejores resultados ya que se encuentra por debajo del IP meta, llegando a promediar un IP de 0.60 HH/m². Esto puede deberse a que el valor meta con el cual se planificó es un valor conservador al no tener referencias previas de trabajos realizados con este material. Los valores obtenidos en la obra, pueden emplearse para futuros proyectos que consideren esta actividad, ya que ayudaría a establecer metas más cercanas a los valores reales.

Figura 6.2. IP Aislante: Semana 15 a 35



Propuestas de mejora

Para el caso del acero de refuerzo, se plantea utilizar métodos alternativos al atortolado que logren aumentar la velocidad del amarrado entre barras. Existen alternativas que son utilizadas en diferentes países y pueden aplicarse a las obras peruanas. Uno de estos casos es la herramienta *twister tool* que logra amarrar un alambre con una simple presión manual en vez de realizar el atortolado convencional que toma mayor tiempo.

Establecer formas de trabajo más ergonómicas para los obreros. Al mejorar su postura, tendrán menos riesgo de sufrir lesiones y trabajarán en mejores condiciones. Esto influye en la velocidad y ritmo de trabajo para acortar los tiempos de ejecución de las tareas.

Para el caso del aislamiento térmico, establecer un banco o taller especial para la habilitación del poliestireno expandido o aislante térmico. A pesar que el IP es favorable, se puede incrementar el trabajo productivo de las cuadrillas y también se logrará la especialización de los obreros en esta actividad; esto último disminuye la frecuencia de errores y los tiempos de habilitado. Otra ventaja es que se podrá trabajar de manera más ordenada en el entorno, ya que no será necesario cortar las planchas a pie de obra.

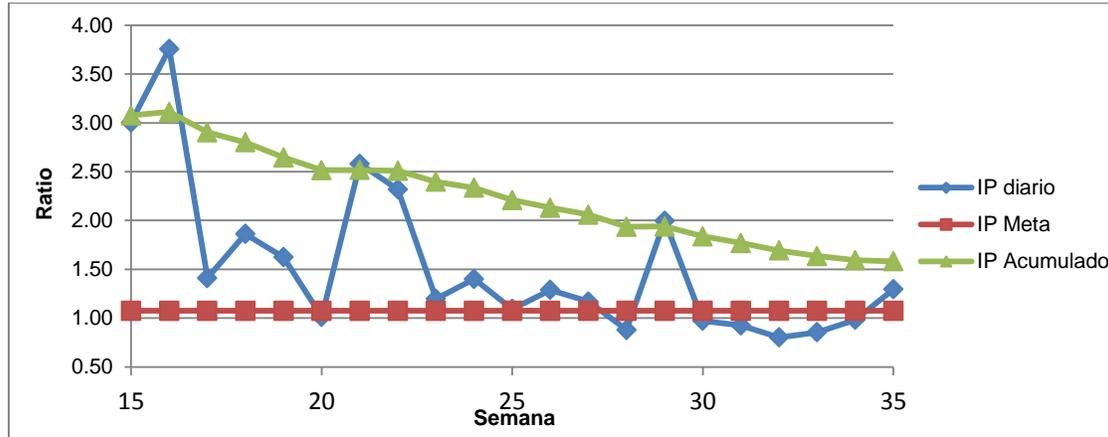
6.3.2 Encofrado metálico

Análisis del IP

El encofrado es siempre una partida crítica y, en algunos casos, se convierte en el cuello de botella en el sistema de producción. Por consiguiente, es necesario llevar un control continuo de rendimientos y ratios de esta actividad que ayuden a conocer su estado y en caso representan un problema, tomar acciones correctivas.

Los IP semanales y el acumulado se muestra en la Figura 6.3, junto con el IP meta de 1.08 HH/m². En términos generales, se observa alta variabilidad y pérdida en el recurso mano de obra por la fluctuación del ratio. En las últimas semanas el IP es menor lo cual demuestra un progreso en cuanto a los rendimientos alcanzados por las cuadrillas en esta actividad. Algunos factores que han logrado estos resultados son la adaptación a las condiciones climáticas y experiencia en la actividad realizada producto de la repetición constante en el encofrado de las viviendas modulares.

Figura 6.3. IP Encofrado: Semana 15 a 35



Propuestas de mejora

Dejar de emplear la conformación de parejas para realizar los trabajos, ya que esto puede ocasionar que personal experimentado, como los operarios, ejecuten mucho trabajo contributorio que puede ser hecho por mano de obra de menor categoría como oficiales.

Realizar una limpieza de los paneles con la hidrobomba cuando el concreto aún esté fresco convirtiéndose en una actividad rutinaria. De esta forma se evitaría un mayor trabajo de limpieza posterior cuando el concreto ya se encuentre fraguado.

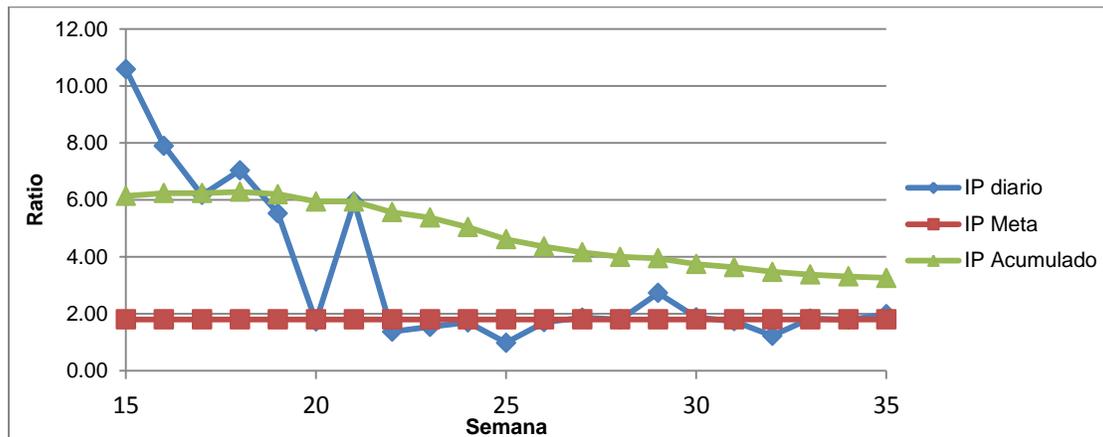
6.3.3 Colocación de concreto

Análisis del IP

La colocación de concreto en obras de viviendas implica procedimientos bastante similares. En el caso de este proyecto, el procedimiento de colocación parece ser similar al empleado en edificios de muros de ductilidad limitada, en los cuales el vaciado de los muros y losa se realiza de forma monolítica. Sin embargo, debido al sistema de los muros de concreto con poliestireno expandido tipo emparedado, se han modificado los procedimientos constructivos básicamente por el alternado de la colocación.

El IP meta establecido fue de 1.80 HH/m³ y los IP para esta actividad han sido obtenidos en el mismo intervalo de tiempo utilizado en las partidas anteriores. Después de pasar por unas semanas de alta variación en los ratios, del gráfico se desprende que los IP han disminuido y el IP acumulado tiende a seguir disminuyendo.

Figura 6.4. IP Concreto: Semana 15 a 35



Propuestas de mejora

De las observaciones realizadas, se plantea reducir el personal destinado al vibrado mediante el empleo de mochilas vibratoras, por lo que la cuadrilla se vería reducida en dos obreros, disminuyendo horas hombre en esta partida.

Utilizar concreto autocompactante, el cual es un concreto altamente fluido sin segregación. Se caracteriza porque el tiempo de colocación es menor y no requiere de vibración. Una ventaja que no influye en el IP propio de colocación de concreto pero que sí es influye en los costos totales de la construcción de las viviendas es que permite acabados superficiales mejores permitiendo ahorros de resanes siendo importante considerando que el acabado es solaqueo. Este tipo de concreto se logra con el empleo de aditivos reductores de agua de alto rango.

7. CONCLUSIONES

El objetivo principal de esta tesis es describir un proceso constructivo no convencional de vivienda masiva para climas de frío extremo. Esto implica el uso del poliestireno expandido como aislamiento térmico y las atenciones especiales que recibe el concreto durante su proceso de colocación y fraguado. Presentado el proyecto de forma global, se desprenden las conclusiones y recomendaciones presentadas a continuación.

Los proyectos de minería llegan a impactar en las comunidades que se encuentran dentro y en los alrededores de su zona de operación. Si se establecen los medios de comunicación adecuados y pertinentes, se establecen soluciones a posibles discrepancias. El proyecto de construcción expuesto es un ejemplo de acuerdo entre la comunidad y la empresa minera, permitiendo mejorar la calidad de vida de la población mediante la construcción de viviendas con aislamiento térmico.

Debido a las características de clima de frío y de viviendas sin consideraciones de aislamiento térmico de las zonas altoandinas del Perú, deben buscarse soluciones para mitigar los impactos que ocasionan las épocas de heladas con el fin que sus poblaciones residan en un ambiente con adecuado confort térmico. Para ello se recomienda establecer continuos planes de reacondicionamiento térmico para las viviendas ya construidas o en el caso de futuros proyectos tomar como parte de la ingeniería y arquitectura alternativas constructivas para el aislamiento de la edificación, tales como la desarrollada en el presente trabajo o la expuesta en el caso de Chile. Esto implica considerar las propiedades de aislamiento de los elementos perimetrales de una vivienda, como muros, techos y pisos. Para la construcción continua de viviendas de este tipo se debe contar además con una normativa constructiva nacional acorde a las exigencias del clima de ubicación de los proyectos, tal como lo poseen países de la región.

Respecto al planeamiento del proyecto, las fechas de los hitos planteados en un inicio han sido modificadas debido principalmente a las características climáticas y sociales de la obra, lo cual impacta también en el presupuesto pues son parás en la producción con duraciones y costos de difícil estimación. Es decir, mantener los flujos de producción sin interrupción es una tarea difícil de lograr debido a la alta variabilidad que se presenta en

este tipo de proyectos, a pesar que los trabajos son repetitivos y secuenciales tal como sucede en la construcción de viviendas masivas.

La programación de las actividades para la construcción de las viviendas se da por medio de un Look Ahead de seis semanas debido al tiempo que demora el pedido de compra, tiempo de compra y tiempo de transporte, siendo un horizonte mayor al de proyectos similares. Además, como parte de la rutina de programación se elabora el Análisis de Restricciones, donde el levantamiento de cada restricción se convierte en un eslabón trascendental dentro de la cadena de producción pues a diferencia de proyectos en ciudades la falta de materiales no pueden ser solucionadas a través de compras a proveedores locales sino que para estas obras implica un sistema de logística complejo.

La colocación de concreto premezclado, el uso de mallas electrosoldadas como acero de refuerzo y el empleo de encofrado metálico en reemplazo al encofrado de madera para los elementos principales como muros y losa, son indicadores de la mayor industrialización que se puede obtener en la construcción de viviendas masivas y modulares.

El uso de mallas electrosoldadas en reemplazo de las varillas de acero convencional permite también una disminución en el recurso mano de obra debido a que en el habilitado así como en la colocación se prescinde de actividades como el atortolado, disminuyendo las horas hombre. Su uso en los elementos principales como platea de cimentación, muros y losas mejoran la productividad promedio de la partida acero.

Respecto al proceso constructivo de las viviendas, forma parte además de las actividades de un proceso convencional, la instalación de las carpas de protección previa a los vaciados de concreto y el uso de los calentadores de aire seco si es que la temperatura del medioambiente cae por debajo de lo mínimo establecido. Se puede concluir de esto que el no contar con sistemas de aislamiento implicaría que el fraguado del concreto se vea interrumpido y no se encuentre dentro de los parámetros especificados. Se recomienda entonces que para proyectos que se encuentren en zonas similares contar con sistemas de aislamiento para el concreto para lo cual deberá evaluarse la disponibilidad y costos de los materiales y equipos necesarios.

Una de las formas de aislar el concreto de las condiciones de clima severo es usar el sistema de protección mediante carpas y calentadores de aire seco el cual implica un

control riguroso de las temperaturas del ambiente, del microclima generado y del concreto durante su proceso de fraguado. Lo expuesto en este trabajo es solo una opción de aislamiento pues puede recurrirse también a aislar el encofrado envolviéndolo con algún material de baja conductividad térmica tal como lo es la lana de fibra de vidrio. Es decir, pueden ser variados los medios que permitan el desarrollo de la resistencia del concreto en climas severos.

Para evitar la deformación del poliestireno expandido debido a los trabajos de colocación del concreto, es necesario un refuerzo adicional que aporte a este material un mayor sostenimiento y fijación. Este involucra trabajos de habilitación y colocación de acero adicional y de colocación alternada y en capas de concreto. Es decir, dichos trabajos no son convencionales y deben de realizarse con especial cuidado para no acarrear en problemas de cangrejas y segregaciones, para lo cual debe contarse además con un encofrado hermético.

Por las características del clima, necesidad de un pronto desencofrado, cuantía de acero y presencia del aislante térmico se ha empleado en las mezclas de concreto el uso de tres aditivos los cuales mejoran sus características. Esto debe de considerarse en los concretos de todos los proyectos de construcción con características atípicas.

Producto del proceso constructivo del sistema estructural de ductilidad limitada es que se presentan diversos defectos en el concreto y para ellos existen procedimientos de reparación como los presentados anteriormente. Mientras un defecto en el concreto no implique problemas de seguridad y calidad en la estructura puede ser reparado aunque esto traiga consigo sobrecostos. Sin embargo, estos deben evitarse para lo cual de preverse contar con los materiales y equipos adecuados a las características de los elementos. Es recomendable hacer un estudio previo a las actividades de producción para encontrar todas las causas directas que podrían ocasionar este tipo de problemas.

Se observó que la productividad en las principales partidas de la construcción del casco ha ido mejorando en el tiempo mostrado acercándose el índice de productividad acumulado al índice de productividad meta; sin embargo, debido a problemas externos este ratio aún presenta alta variabilidad entre semanas. Enfocándose en el procedimiento, estos índices pueden reducirse, para lo cual se presentaron las propuestas de mejora para la productividad en campo.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI (1991). *ACI 211.1R-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.*

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI (1998). *ACI 309.2R-98. Identification and Control of Visible Effects of Consolidation on Formed Concrete Surfaces.*

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI (2010). *ACI 306R-10. Guide to Cold Weather Concreting.*

AULI MELLADO, Enric (2007). *Guía para obtener una vivienda sostenible: las claves de la armonía ecológica, social y económica en su hogar.* Barcelona: CEAC.

CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN (2010). *Reacondicionamiento Térmico de Viviendas en Uso.* Santiago de Chile, Chile.

CENTRO CORPORATIVO DE APRENDIZAJE DEL GRUPO GRAÑA Y MONTERO. *Manual de Gestión de Proyectos.* Lima, Perú.

CENTRO DE ENERGÍAS RENOVABLES Y USO RACIONAL DE LA ENERGÍA CER – UNI (2009). *Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda altoandina del Perú.* Lima, Perú.

FIGUEROA, T., PALACIO, R. (2008). *Patologías, causas y soluciones del concreto arquitectónico en Medellín.* Revista EIA, Número 10, p. 121-130. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín, Colombia.

GHIO CASTILLO, Virgilio (2001). *Productividad en obras de construcción: diagnóstico, crítica y propuesta.* Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

G y M S.A. (2012). *Obra 1728: Proyecto Nueva Fuerabamba. Primera Etapa.* Apurímac, Perú.

HARMAN GUERRA, Lucy (2010). *Confort Térmico en Viviendas Altoandina: un enfoque integral*. CARE Perú. Lima, Perú.

HERRERA, J., LLOSA, F. Construcción de Edificios con muros de ductilidad limitada: Experiencias Los Parques del Agustino. Lima, Perú

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA INEI (2007). *VI Censo Nacional de Vivienda*. Lima, Perú.

ISO 7730: 2005. *Ergonomics of the thermal environment: Analytic comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*.

MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES (1997). *Real Decreto 486/1997*. Boletín Oficial del Estado. Madrid, España.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2012). *Prepárate ante el frío*. Lima, Perú.

MINISTERIO DE VIVENDA Y URBANISMO. *Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica*. Santiago de Chile, Chile.

NEILA GONZALEZ, Javier (2000). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible: buenas prácticas edificatorias*. Madrid: Munilla-Iería.

OKAMURA, HAJIME, OUCHI, MASACHIRO (2003). *Self-Compacting Concrete*. Journal of Advance Concrete Technology (2003): 5 – 15. Japan Concrete Institute.

OTTAZZI PASINO, Gianfranco (2002). *Apuntes del Curso Concreto Armado 1*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

PASQUEL, E., SOTOMAYOR, C. Propuesta de metodología para la evaluación de defectos superficiales en los acabados de muros de concreto. Lima, Perú.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ SENAMHI (2009). *Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030*. Lima, Perú.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ SENAMHI Y MINISTERIO DE AGRICULTURA MINAG (2005). *Atlas de Heladas*. Lima, Perú.

VIGIL – ESCALERA DEL POZA, A. (2005). *Guía de Construcción Sostenible*. Madrid: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud ISTAS

YABAR BEDOYA, José Bedoya (2006). *Planeamiento de obra y proceso constructivo del Proyecto Piloto El Mirador Nuevo Pachacutec*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

