

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



**PROCESO CONSTRUCTIVO DE MUROS DE DUCTILIDAD  
LIMITADA CON AISLAMIENTO TÉRMICO EN CLIMAS  
FRÍOS – PROYECTO CIUDAD NUEVA FUERABAMBA –  
COTABAMBAS - APURIMAC**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**HENRY OMAR SOLIS SALAS**

**Lima- Perú**

**2015**

## **DEDICATORIA**

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

A mi Padre por ser ejemplo de una vida en base a principios y valores.

A mi Madre por enseñarme a luchar y por su apoyo incondicional.

A mis hermanas por darme tanto amor y ser mi fortaleza.

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I: ANTECEDENTES</b>	<b>12</b>
1.1 ANTECEDENTES	12
1.2 ALCANCES Y OBJETIVOS	13
1.3 PROYECTO MINERO LAS BAMBAS	14
1.4 VIVIENDAS EN CLIMAS FRÍOS EN EL PERÚ	15
1.4.1 Tipología de la vivienda en climas fríos en el Perú	17
1.4.2 Arquitectura bioclimática	17
1.4.3 Confort térmico	18
1.5 AISLAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS	19
1.5.1 Conductividad térmica - $\lambda$	20
1.5.2 Inercia térmica - I	21
1.5.3 Resistencia térmica - R	21
1.5.4 Transmisión térmica - U	21
1.5.5 Poliestireno expandido	21
1.3.6 Normativa nacional	22
<b>CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>24</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	24
2.1.1 Alcance del proyecto	24
2.1.2 Localización	25
2.1.3 Vías de acceso	27
2.1.3 Clima	28
2.2 HABILITACIÓN URBANA	29
2.2.1 Criterios de diseño	29
2.2.2 Zonificación	30

2.2.2.1 Zonificación residencial baja I	31
2.2.2.2 Zonificación residencial baja II	31
2.2.3 Aportes	32
2.2.4 Vialidad	34
2.2.4.1 Vías primarias	34
2.2.4.2 Vías secundarias	35
2.2.5 Accesibilidad a discapacitados	36
2.2.6 Espacios urbanos	37
2.2.7 Infraestructura y pavimentos	39
2.3 VIVIENDAS	39
2.3.1 Características arquitectónicas	39
2.3.2 Tipos de viviendas	41
2.3.3 Materiales y acabados	46
2.3.4 Estructuras	52
2.3.5 Instalaciones eléctricas	54
2.3.6 Instalaciones sanitarias	56
<b>CAPÍTULO III: PROCESO CONSTRUCTIVO</b>	<b>61</b>
3.1 SECUENCIA DE ACTIVIDADES	61
3.2 MICROCLIMA PARA FRAGUADO DE CONCRETO	64
3.3 ENCOFRADO METÁLICO - FORSA	68
3.4 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	70
3.5 DEFECTOS DEL CONCRETO	109
<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>114</b>
4.1 CONCLUSIONES	114
4.2 RECOMENDACIONES	116
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>117</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>118</b>

## RESUMEN

En el presente Informe de Suficiencia titulado “Proceso Constructivo de Muros de Ductilidad Limitada con Aislamiento Térmico en Climas Fríos – Proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba – Cotabambas – Apurímac”, se describe el proceso constructivo del casco estructural para viviendas en regiones de climas fríos, desarrollado durante el reasentamiento de una comunidad campesina en la Sierra del Perú.

El sistema de muros de ductibilidad limitada tiene buen desempeño estructural y un proceso constructivo industrializado, que incide en su bajo costo de construcción, por lo cual es apropiado para la construcción masiva de viviendas de baja altura. Como caso de aplicación se tomó la construcción de viviendas del proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba, cuyos los objetivos principales fueron: Lograr el confort térmico apropiado dentro de las vivienda durante el invierno (esto se logró mediante el uso de planchas de poliestireno expandido como material aislante embebido en los muros de concreto) y también desarrollar un procedimiento constructivo adecuado para la construcción de muros de ductilidad limitada en regiones con climas fríos (controlando las precipitaciones meteorológicas y los cambios de temperatura durante la colocación y fraguado del concreto).

En el primer capítulo se presenta el proyecto minero “Las Bambas”, dentro del cual se desarrolla el proyecto ciudad “Nueva Fuerabamba”; se describe la tipología de la vivienda en regiones con climas fríos en el Perú y se definen los conceptos de arquitectura bioclimática y confort térmico. También se indica la importancia del aislamiento térmico de viviendas, resaltando el uso del poliestireno expandido como una alternativa para generar un aislamiento termico que se adapte a las condiciones del proyecto y a la normatividad nacional.

En el segundo capítulo se presenta el proyecto ciudad “Nueva Fuerabamba”, describiendo las características generales de localización, vías de acceso y

clima; se detallan criterios de planificación y habilitación urbana de la ciudad "Nueva Fuerabamba" y se mencionan características del diseño, la zonificación, los aportes urbanos, la vialidad, accesibilidad para discapacitados, etc. Finalmente en la descripción de las viviendas se presentan las características arquitectónicas, los tipos de viviendas, los materiales y acabados, las estructuras, las instalaciones eléctricas y las instalaciones sanitarias.

En el tercer capítulo se explica el proceso constructivo de las viviendas constituido por un sistema estructural de muros de ductilidad limitada con aislamiento térmico de poliestireno expandido; se detalla la secuencia de actividades del casco estructural, el microclima generado para garantizar el fraguado del concreto; también se menciona el sistema de encofrado utilizado y los defectos constructivos identificados para la etapa de casco estructural

Finalmente en el cuarto capítulo se mencionan las conclusiones y las recomendaciones que se proponen para la aplicación del procedimiento constructivo propuesto en futuros proyectos.

En los anexos del presente documento se muestran los planos de estructuras y arquitectura de una vivienda tipo 1R, utilizada como modelo para el caso de aplicación de este informe.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1 – Zonificación urbana.	31
-----------------------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	– Comportamiento horario típico de la temperatura. Estación Sicuani, Cusco (11 de mayo 2004).	16
Figura 2.1	– Mapa de entorno microregional de Fuerabamba.	25
Figura 2.2	– Localización regional.	26
Figura 2.3	– Localización provincial.	26
Figura 2.4	– Localización distrital.	27
Figura 2.5	– Mapa de zonificación.	33
Figura 2.6	– Mapa de jerarquía de vías.	36
Figura 2.7	– Mapa de pendiente de vías.	37
Figura 2.8	– Mapa de espacios urbanos.	38
Figura 2.9	– Detalle del mueble de cocina.	49
Figura 2.10	– Detalle del closet.	50
Figura 2.11	– Detalle de pasamanos.	50
Figura 2.12	– Detalle de cocina mejorada.	52
Figura 3.1	– Armado de carpa con plastilona	65
Figura 3.2	– Carpa de protección instalada en una vivienda tipo 1R..	65
Figura 3.3	– Calentador de aire directo Wacker Neuson HD 38	67
Figura 3.4	– Carpa de protección para platea de cimentación.	75
Figura 3.5	– Colocación de acero en la platea de cimentación.	77
Figura 3.6	– Aplicación de curador químico con mochila pulverizadora en la platea de cimentación.	81
Figura 3.7	– Colocación de tacos de concreto y separadores de acero.	85
Figura 3.8	– Refuerzo especial de acero.	86
Figura 3.9	– Encofrado de esquina de muro - FORSA.	88
Figura 3.10	– Colocación de tecnopor y corbatas	89
Figura 3.11	– Encofrado de vano de puerta - FORSA	90
Figura 3.12	– Encofrado metálico – FORSA – Vista de ángulos alineadores	90
Figura 3.13	– Encofrado metálico – FORSA – Vista de pasarela y rampa.	91

Figura 3.14	– Encofrado metálico – FORSA – Vista del encuentro muro y losa.	91
Figura 3.15	–Encofrado metálico – FORSA – Vista de Losa de Apuntalamiento.	92
Figura 3.16	– Secuencia de vaciado de concreto en muros y losa primer piso de la vivienda tipo 1R.	97
Figura 3.17	–Pasarelas, plataformas, guardacuerpo y rampa de acceso al segundo piso.	100
Figura 3.18	–Detalle de refuerzo para canastillas de acero corrugado	101
Figura 3.19	–Encofrado de escalera	107
Figura 3.20	– Montaje de estructura metálica del techo de la vivienda tipo 1R.	109

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 - Categorías de ambiente térmico, índice PPD.	17
Tabla 1.2 - Conductividad térmica de materiales de construcción.	21
Tabla 2.1 - Aporte urbanos de proyecto.	31
Tabla 2.2 - Aporte urbanos por etapas.	32

## LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

RNE	: Reglamento Nacional de Edificaciones.
CER	: Centro de Energías Renovables.
UNI	: Universidad Nacional de Ingeniería.
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía del Perú.
MINAG	: Ministerio de Agricultura.
msnm	: Metros sobre el nivel del mar.
°C	: Grados centígrados.
$\lambda$	: Conductividad térmica.
I	: Inercia térmica.
R	: Resistencia térmica.
U	: Transmisión térmica.
W	: Watts.
m <sup>2</sup>	: Metros cuadrados.
PdRGA	: Prevención de Riesgos y Gestión Ambiental.
QA-QC	: Aseguramiento y control de calidad.
ACI	: American Concrete Institute.
ha	: Hectáreas.
km	: Kilómetros.
m	: Metros.
UTM	: Universal Transversal de Mercator.
WGS84	: Sistema Geodésico Mundial 1984.
RDB	: Residencial de Densidad Baja.
D.S.	: Decreto Supremo.
hab	: Habitantes.
ZR	: Zonas de Recreación.
mm	: Milímetros.
ELSE	: Electro Sur Este.
PVC-P	: Tubería de Poli Cloruro de Vinil Pesado.
PVC	: Tubería de Poli Cloruro de Vinil.
TW	: Termo plastificado para humedad.
DIN	: Norma Internacional Alemana.
kA	: Kilo Amperios.
Ø	: Diámetro.
PP-B	: Polipropileno con polímero de buteno.
PPR-100	: Polipropileno con polímero clase 100.
ISO	: Organización Internacional de Estandarización.
VMA	: Valores Máximos Admisible.
UV	: Ultra Violeta.
SAP	: Estándar Americano Pesado.
kg	: Kilogramos.
FORSA	: Formaletas de Aluminio Sociedad Anónima.
EPP	: Equipo de Protección Personal.
f'y	: Esfuerzo de fluencia.
slump	: Asentamiento del concreto.
f'c	: Esfuerzo de rotura.
K	: Grados Kelvin.
PN	: Presión nominal.
DN	: Diámetro nominal.

## INTRODUCCIÓN

En climas fríos como el de la Sierra peruana, las exigencias climatológicas requieren sistemas constructivos que brinden aislamiento térmico a los ambientes en el interior de las viviendas, para asegurar un adecuado confort térmico dentro de las mismas.

El sistema de muros de ductilidad limitada tiene buen desempeño estructural y un proceso constructivo industrializado, que incide en su bajo costo de construcción. Por lo cual es apropiado para la construcción masiva de viviendas de baja altura, pero por el otro lado, en su forma original el sistema de muros de ductilidad limitada no brinda el confort térmico adecuado para ser utilizado regiones con climas fríos. A esto se suman los problemas constructivos que se generan debido al clima extremadamente frío de algunas zonas de la Sierra peruana, durante su ejecución del casco estructural,

Para lograr un confort térmico adecuado se propone un sistema de aislamiento tipo sándwich, utilizando como material aislante el poliestireno expandido en el interior de los muros de ductilidad limitada, al mismo tiempo se aprovecha la resistencia y durabilidad del concreto. Y para aspectos constructivos se buscó y se determinó una alternativa que genera condiciones apropiadas de temperatura para el fraguado del concreto y brinda estabilidad a las planchas de poliestireno expandido, durante el vaciado de concreto.

El alcance y objetivo principal del presente trabajo es presentar y describir el procedimiento constructivo para el sistema propuesto de muros de ductilidad limitada con aislamiento térmico, compuesto por planchas de poliestireno expandido (tecnopor). Se ofrece como una buena alternativa (comprobada en la reciente construcción de las viviendas de la ciudad Nueva Fuerabamba) para

ser aplicada en futuros proyectos de construcción masiva de viviendas en la Sierra peruana o en regiones con clima fríos similares.

Para el desarrollo de este informe se recopiló información (informes y procedimientos) desarrollada por la empresa Graña y Montero Ingeniería S.A., durante la etapa de desarrollo del proyecto de ingeniería. También se revisaron tesis relacionadas a proyectos donde se utilizaron muros de ductilidad limitada principalmente en la provincia de Lima. Esta información se analizó tomando como base el marco teórico descrito en el primer capítulo del informe y las experiencias obtenidas durante la etapa de construcción de proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba, con la finalidad de identificar las lecciones aprendidas y las oportunidades de mejora observadas durante la ejecución del proyecto.

El informe se desarrolla en tres capítulos. El primer capítulo presenta el proyecto minero “Las Bambas”, dentro del cual se desarrolla el proyecto ciudad “Nueva Fuerabamba” y se indica la importancia del aislamiento térmico de viviendas, resaltando el uso del poliestireno expandido como una alternativa.

El segundo capítulo describe el proyecto “Ciudad Nueva Fuerabamba”, mencionando las características de la habilitación urbana y de las viviendas construidas en el proyecto.

El tercer capítulo desarrolla el proceso constructivo de las viviendas constituido por un sistema estructural de muros de ductilidad limitada con aislamiento térmico de poliestireno expandido. Finalmente en el cuarto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones.

## CAPITULO I: ANTECEDENTES

### 1.1 ANTECEDENTES

En el Perú se viene construyendo proyectos de vivienda masiva con el sistema estructural de muros de ductilidad limitada con gran intensidad desde comienzos de la década del 2000. El uso de este sistema estructural se aplica principalmente en la construcción masiva de viviendas multifamiliares y/o de interés social. El aumento se debe a las características favorables que tiene este sistema en edificaciones de poca altura (menor de 5 pisos); por su buen desempeño estructural, proceso constructivo industrializado y su bajo costo de construcción. Por lo indicado, se viene estudiando ampliamente aspectos relacionados a los procedimientos constructivos y al análisis de costos de construcción para este sistema, en proyectos ejecutados en la Costa peruana (región de climas templados). Sin embargo, no se encuentra información de la construcción de viviendas masivas usando el sistema estructural de muros de ductilidad limitada en zonas de climas de frío.

El sistema estructural de muros de ductilidad limitada es apropiado para el desarrollo de viviendas masivas y de interés social, pero no se utiliza en la Sierra peruana porque tiene las siguientes limitaciones: requiere un procedimiento especial para la colocación del concreto y fraguado del concreto (por tener temperaturas ambientales bajo 0° C) y por no generar el confort térmico adecuado dentro de la viviendas.

Teniendo en cuenta lo anterior se propone el proceso constructivo de viviendas unifamiliares con el sistema de muros de ductilidad limitada con aislamiento térmico de planchas de poliestireno expandido (tecnopor), como una alternativa para superar las limitaciones indicadas.

Este proceso constructivo de muros de ductilidad limitada con aislamiento térmico de poliestireno expandido se desarrolló y aplico en el reasentamiento de

la comunidad campesina de Fuerabamba, ubicada en el distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas y departamento de Apurímac.

## 1.2 ALCANCES Y OBJETIVOS

En la actualidad la falta de un proceso constructivo para el sistema de muros de ductilidad limitada con aislamiento térmico y la poca reglamentación nacional referente al aislamiento térmico de las viviendas en climas fríos, descartan el uso de este sistema constructivo en la Sierra peruana (región que se caracteriza por tener climas fríos); además la construcción de muros de concreto reforzado de poco espesor en climas fríos presenta problemas de resistencia y durabilidad en el concreto, los cuales son controlados con un adecuado proceso de construcción, por ende no se utiliza este sistema como una solución adecuada para la construcción de viviendas masivas en la Sierra peruana, frente al sistema de construcción convencional en esta región (albañilería confinada, adobe).

El presente trabajo aborda los siguientes aspectos: la mejora del confort térmico para este sistema de muros de ductilidad limitada con aislamiento y la propuesta del procedimiento constructivo apropiado para su aplicación en la Sierra peruana.

El objetivo principal es proponer un procedimiento constructivo para el sistema de muros de ductilidad limitada con aislamiento de planchas de poliestireno expandido (tecnopor) en climas fríos, para su futura aplicación en proyectos de vivienda masiva en la sierra peruana. Para lo cual se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los problemas que se generan por el uso de planchas de poliestireno expandido (tecnopor) como aislamiento térmico durante el proceso constructivo de las estructuras de muros de ductilidad limitada.

- Analizar el procedimiento constructivo aplicado en la construcción de viviendas unifamiliares con el sistema estructural de muros de ductilidad limitada con planchas de poliestireno expandido (tecnopor) como aislante térmico.
- Recoger y difundir las lecciones aprendidas durante la construcción del proyecto ciudad “Nueva Fuerabambas” que consistió en la construcción de 441 viviendas unifamiliares con el procedimiento constructivo propuesto en el presente informe.

### 1.3 PROYECTO MINERO LAS BAMBAS

El proyecto minero Las Bambas es propiedad 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 msnm, 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 2015 con una inversión de 5,500 millones de dólares y una vida útil de 18 años.

Es importante señalar que este Proyecto Minero se sitúa en uno de los departamentos más pobres del Perú, donde las actividades económicas principales son: la agricultura y la ganadería, siendo el volumen de producción y el nivel de desarrollo muy bajos. Además, esta zona posee una de las tasas más altas de desnutrición y 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 de adobe con techo de ichu seco (pasto del altiplano andino).

En este contexto, por política de la empresa minera y para lograr una sólida comunicación con la población a reasentar es crearon diversos programas para el progreso y bienestar en los aspectos sociales y económicos, en la zona de influencia del proyecto minero. 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.

Los proyectos de minería impactan 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 buen ejemplo, del acuerdo entre la comunidad de Fuerabamba y la empresa minera, para mejorar la calidad de vida de la población mediante la construcción de viviendas con un mejor confort térmico y con los servicios básicos (agua, electricidad, educación, salud, etc.).

#### **1.4 VIVIENDAS EN CLIMAS FRÍOS EN EL PERÚ**

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 el Altiplano al Sur, alrededor de la cuenca del Lago Titicaca.

Durante los meses de mayo a agosto, en las zonas alto andinas de la Sierra se registran las más bajas temperaturas del Perú, principalmente en el Altiplano. La temperatura del aire cercano al suelo desciende varios grados bajo cero y este fenómeno climático 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.

El proyecto, materia de este informe, se ubica en departamento de Apurímac que es constantemente afectada por el fenómeno de 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 Tacna<sup>1</sup>.

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.

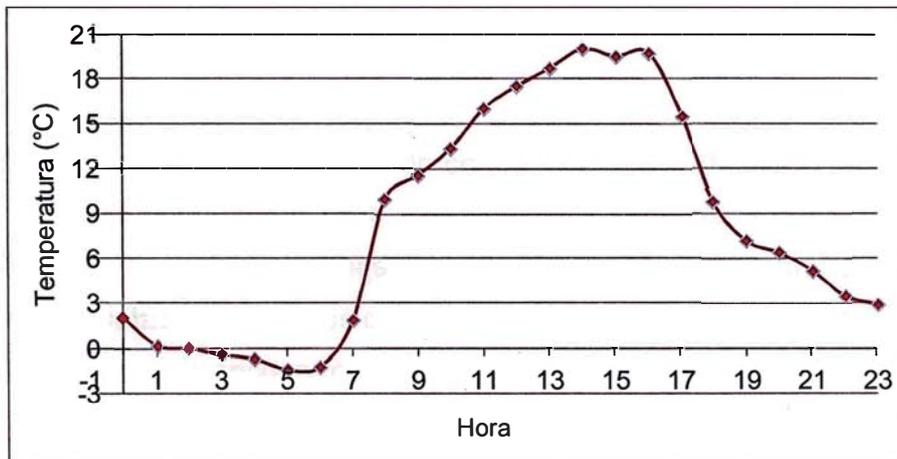


Figura 1.1 - Comportamiento horario típico de la temperatura. Estación Sicuani, Cusco (11 de mayo 2004)<sup>2</sup>

La población expuesta al fenómeno de la helada complica su situación por lo deficiente de sus viviendas, mala alimentación e inapropiada vestimenta. Por lo expuesto, es necesario dotar a las viviendas de características especiales en su construcción, para lograr un confort térmico adecuado mejorando así la calidad de vida de las personas.

<sup>1</sup> Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía CER-UNI.

<sup>2</sup> Fuente: Atlas de Heladas (SENAHMI - MINAG, 2005).

### 1.4.1 Tipología de la vivienda en climas fríos en el Perú

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 el fenómeno climático de helada y friaje se observa que el porcentaje del uso de viviendas de adobe aumenta a un 57.7%.

En las zonas rurales de la Sierra del Perú, el adobe es usado como principal material de construcción, por su bajo costo y su fácil acceso. Este material de construcción es también reconocido por bajo coeficiente de conductividad térmica, que sumado a los 40 cm de espesor en los muros exteriores, generan una buena resistencia térmica.

Estas viviendas se caracterizan por contar con pisos de tierra apisonada y techos de calaminas, paja o tejas. Las puertas y ventanas son metálicas o de madera, pero sin consideraciones de aislamiento. Por lo general existen gran cantidad de grietas en los muros de adobe, así mismo pueden presentar amplias separaciones en los encuentros de muro y techo, cuando en general no hay labores de mantenimiento y/o reparación. Todo esto genera que la vivienda brinde un adecuado confort térmico.

### 1.4.2 Arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática, 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 que se ubica, siendo los aspectos energéticos los más relevantes.

El aspecto energético se relaciona con los medios de captación y conservación de energía en una vivienda, para que sea confortable térmicamente. Estos medios son la orientación, ventilación y aislamiento térmico.

### 1.4.3 Confort térmico

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 7730<sup>3</sup>, 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. En la tabla 1.1 se muestran tres categorías de calidad de ambiente térmico correspondientes al índice PPD relativos a la sensación térmica del conjunto del cuerpo y el grado de insatisfacción que la situación térmica provoca en los ocupantes.

**Tabla 1.1 – Categorías de ambiente térmico, índice PPD.**

CATEGORIA DE AMBIENTE	ESTADO TÉRMICO DEL CUERPO EN SU CONJUNTO
	PPD (%)
A	< 6%
B	< 10%
C	< 15%

**Fuente: Nota técnica de prevención nro. 779 – Instituto nacional de seguridad e higiene – Ministerio de empleo y seguridad social del gobierno de España.**

<sup>3</sup> Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria

Esta condición de confort térmico o temperatura del aire en contacto con la persona, no tiene valores definidos o respaldados normativamente en el Perú.

Para condiciones de ambiente natural como las que corresponden a altitudes mayores a 3 000 msnm. Los referentes para contar con un valor útil se basa en las siguientes experiencias:

- a. Experiencias desarrolladas por el Centro de Energías Renovables y Uso Eficiente de la Energía de la Universidad Nacional de Ingeniería en las comunidades de San Francisco de Raymina (3 700 msnm) de Ayacucho y Vilcallamas Arriba (4 500 msnm) de Puno.
- b. Experiencias de construcciones similares hechas en Juli (Puno), Espinar (Cusco) y Chumbivilcas (Cusco) por la misión Belén Inmense y por la PUCP en Cusco, que son reportadas en la tesis de titulación profesional Fredy Huaylla Roque. "Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda altoandina". Tesis de Ingeniería Física. Universidad Nacional de Ingeniería. (2010).

Estas experiencias que han logrado resultados cuantitativos y cualitativos sugieren que el habitante andino se siente satisfecho en ambientes que alcanzan, al menos, 10°C de temperatura.

## 1.5 AISLAMIENTO TÉRMICO EN LAS VIVIENDAS

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 y el exterior.

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.

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 emitirlas 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 debe construirse con consideraciones de aislamiento térmico no sólo 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, que 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.

A continuación se presentan algunos conceptos adicionales necesarios, los cuales son propiedades de los materiales aislantes térmicos.

### **1.5.1 Conductividad térmica - $\lambda$**

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.

### **1.5.2 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.

### **1.5.3 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.

### **1.5.4 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.

### **1.5.5 Poliestireno expandido**

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. El poliestireno es uno de los mejores aislantes térmicos, se usa ampliamente en la construcción de edificios ahorradores de energía.

El poliestireno expandido se caracteriza por ser un material poroso, debido a que en su interior cuentan con celdas que al momento de su fabricación atrapan aire. El aire 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 1.2 - Conductividad térmica de materiales de construcción.**

Material	Densidad Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad Térmica $\lambda$ (W/m.K)
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

### 1.5.6 Normativa Nacional

En el Perú la norma, de diseño y ejecución de las habilitaciones urbanas y edificaciones, es el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE.

La norma tiene por 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.

En la norma 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  $1.20 \text{ W/m.K}$  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 inferiores<sup>4</sup>.

Debido a que el Perú no cuenta con una reglamentación acorde a este tema, como si la poseen otros países de Sudamérica (Chile, Argentina), desde el 2008 la Dirección Nacional de Construcción (perteneciente al Viceministerio de Construcción y Saneamiento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento), 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 construcción de edificaciones según el clima de la zona, al consumo de energía y a una metodología de cálculo<sup>5</sup>.

Actualmente no se cuenta con ninguna documentación relacionada a 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 el proceso constructivo que se desarrolló en el proyecto ciudad Nueva Fuerabamba, como una alternativa aplicable a futuros proyectos.

---

<sup>4</sup> Reglamento Nacional de Edificaciones RNE (2006).

<sup>5</sup> Pagina web de la Dirección Nacional de Construcción, <http://www.vivienda.gob.pe/dnc/vision.aspx>

## CAPITULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este capítulo presenta los aspectos generales del proyecto de construcción de la ciudad Nueva Fuerabamba, también describe sus características de diseño y construcción.

### 2.1 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

#### 2.1.1 ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto ciudad Nueva Fuerabamba consiste en la construcción de una ciudad para el reasentamiento de la comunidad campesina de Fuerabamba, que se encuentra dentro del área de influencia del proyecto minero “Las Bambas”, conformada por 13 barrios: Chuspire, Arapio, Huancarani, Alto Fuerabamba, Acco Acco, Panchama, Ccolpajujio, Centro Fuerabamba, Ccomercacca, Jahuapaylla, Challaque, Takiruta y Huankarpalla.

El reasentamiento de la comunidad de Fuerabamba se emplaza sobre 2 terrenos (comprados por la empresa minera Xstrata), uno de estos en la comunidad campesina de Chila (sector Norte) y el otro en la comunidad campesina de Choaquere (sector Sur).

- El terreno denominado Chila (sector Norte) tiene un área de 125.977 ha, en el cual se construyeron 455 viviendas unifamiliares.
- El terreno denominado Choaquere (sector Sur) tiene un área de 150.016 ha, en el cual se construirán 555 viviendas unifamiliares.

De acuerdo a la empresa minera se consideró, en el planeamiento integral, a Chila como zona urbana principal y futuramente su integración al planeamiento del terreno en Choaquere considerado para una expansión urbana, donde se ubicará el equipamiento complementario para la ciudad de Fuerabamba.

El presente informe se enfoca únicamente en los trabajos que se ejecutaron sobre el terreno denominado Chila, porque en esta parte del proyecto minero se aplicó el proceso constructivo de muros de ductilidad limitada con aislamiento térmico, para la construcción de viviendas unifamiliares. El terreno denominado Choaquere se reserva para una futura ampliación de la ciudad Nueva Fuerabamba. La siguiente figura nos muestra la ubicación de la comunidad de Fuerabamba y la ubicación de la ciudad Nueva Fuerabamba.

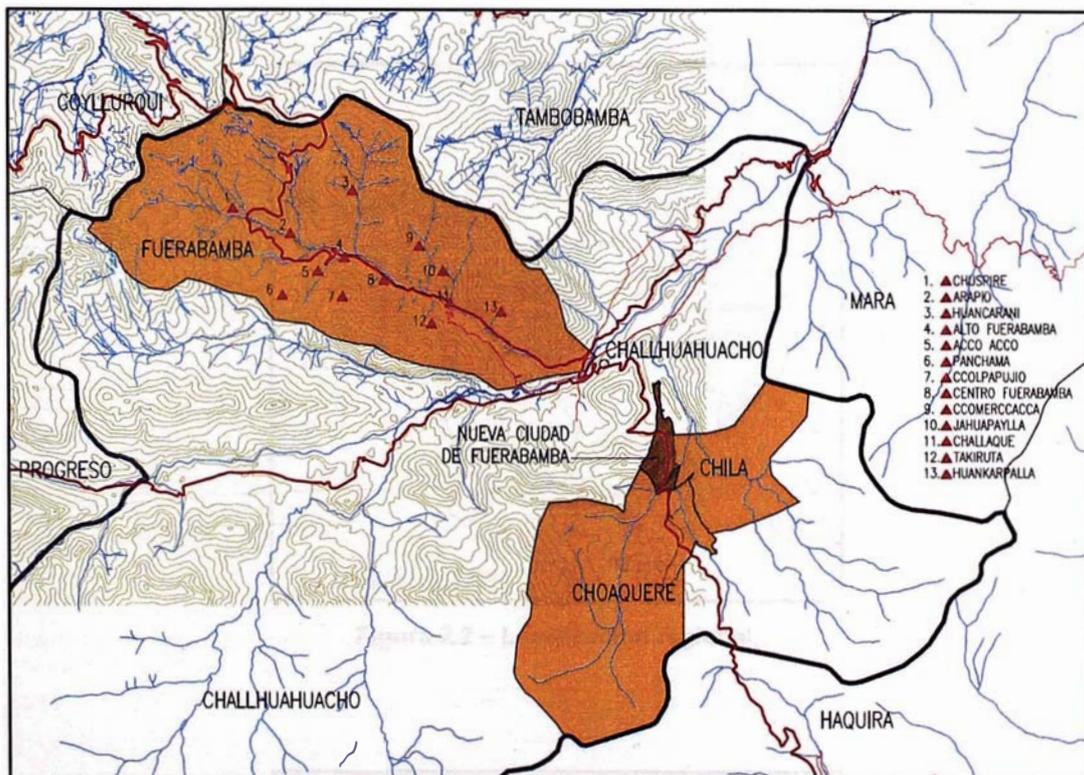


Figura 2.1 – Mapa de entorno microregional de Fuerabamba.

## 2.1.2 LOCALIZACIÓN

El proyecto ciudad Nueva Fuerabamba se localiza en la región Apurímac (en la Sierra Sur del Perú), en la provincia de Cotabambas, distrito de Challhuahuacho, entre las comunidades campesinas de Chila y Choaquere. A una distancia de 10 km al Sur del distrito de Challhuahuacho en dirección hacia el distrito de Haquira. Geográficamente, se ubica en las coordenadas UTM Este: 799,400 – 800,500 m, Norte: 8'437,600 – 8'438,900 m, en la Zona 18 Sur – Datum Horizontal WGS84.

La ciudad Nueva Fuerabamba se ubica sobre el valle del río Chila, (quebrada Yuracmayo), específicamente en la ladera Este del valle (ver figura 2.1), con cotas de nivel de 3800 msnm en el cauce del río hasta 4000 msnm en las cumbres rocosas. El desarrollo del valle es longitudinal y regular con pendientes uniformes que van de 0 a 30% en promedio.

El acceso principal a esta ubicación es desde el tramo de la vía entre Challhuahuacho y Haquira del eje vial Apurímac - Arequipa.



Figura 2.2 – Localización regional.



Figura 2.3 – Localización provincial.

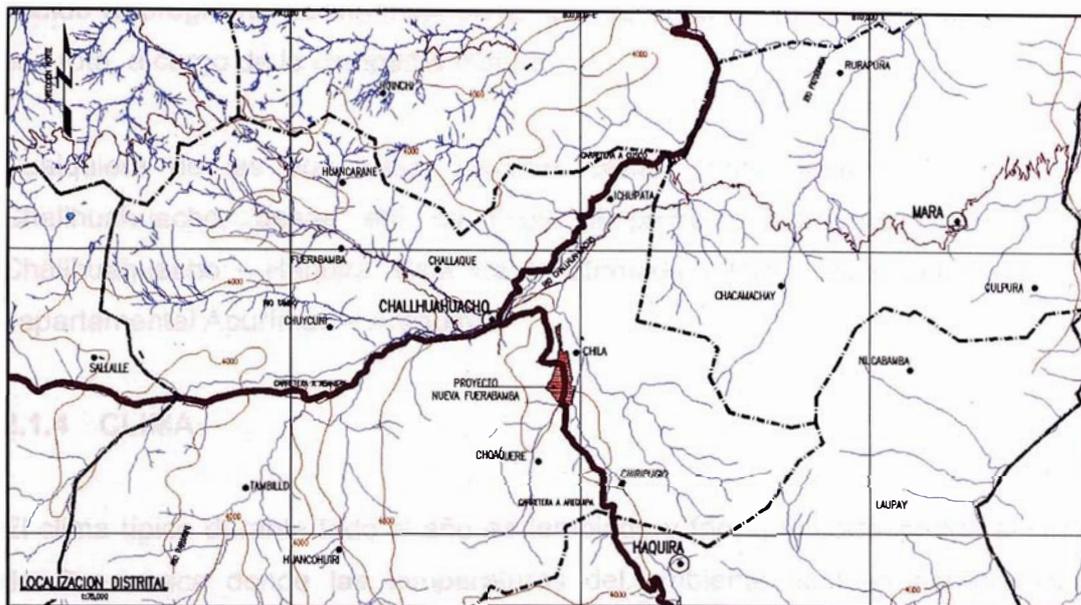


Figura 2.4 – Localización distrital.

### 2.1.3 VÍAS DE ACCESO

A la ciudad Nueva Fuerabamba se llega desde el distrito de Challhuahuacho, en la provincia de Cotabambas de la región Apurímac, que se encuentra a 10 km al Norte. Al distrito de Chalhuahuacho se llega por 2 rutas terrestres, que vienen desde las ciudades de Cuzco y Abancay.

- La primera ruta de acceso es por la carretera Cusco – Anta – Cotabambas – Tambobamba – Challhuahuacho con un recorrido de 289 km, en un tiempo estimado de 8 horas. El tramo Cusco – Anta, es una carretera asfaltada y forma parte de la carretera longitudinal de la Sierra Sur. El tramo Anta – Cotabambas es una carretera afirmada.
- La segunda ruta de acceso es por la carretera asfaltada Lima – Nazca – Puquio – Abancay, desde la cual se debe tomar un desvío afirmado antes de llegar a Abancay que conduce a la provincia de Cotabambas para finalmente llegar al distrito de Challhuahuacho.

Durante toda la etapa de desarrollo del proyecto se utilizó como ruta de acceso la carretera Cusco – Anta – Cotabambas – Tambobamba – Challhuahuacho,

debido al programa de mantenimiento que se tiene de manera permanente en esa ruta, a cargo de la compañía minera.

Cualquiera de las dos rutas descritas tienen como destino el distrito de Challhuahuacho, desde ahí se llega al proyecto por medio de la vía Challhuahuacho – Haqira. Esta vía es afirmada y forma parte del eje de vía departamental Apurímac – Arequipa.

#### **2.1.4 CLIMA**

El clima típico durante todo el año es templado y frío, que corresponde al clima de Puna seca donde las temperaturas del ambiente fluctúan abruptamente durante el día entre los 21°C cayendo en promedio a -5°C durante la noche.

En la época de helada, durante los meses de Junio a Agosto, la temperatura desciende aún más registrándose hasta -10°C, por lo que son usuales en esta época las granizadas y nevadas.

Es frecuente en esta región la fuerte radiación solar de 500 – 900 w/m<sup>2</sup> (energía que entrega el sol a cada metro cuadrado de superficie sobre la tierra), entre las 8 y 15 horas del día, aun cuando la temperatura es fría. Presenta además una humedad relativa promedio de 75% y la 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. Por lo anterior, la ciudad se desarrolla con una configuración predominantemente lineal siguiendo la orientación principal del terreno de Norte a Sur, sobre la ladera Oeste del valle que recibirá el sol de la mañana y también parte de la tarde.

## 2.2 HABILITACIÓN URBANA

### 2.2.1 CRITERIO DE DISEÑO URBANO

Se buscó el resultado más eficiente en cuanto a accesibilidad, sustentabilidad y ambiente adecuado para los habitantes según los siguientes criterios:

- El arreglo urbano corresponde a una habilitación de tipo residencial de densidad baja (RDB) considerando áreas y frentes mínimos de lotes según la normatividad vigente (Título II del RNE). La densidad neta promedio de la nueva habilitación es de 115 hab/ha. Los equipamientos que proporcionan servicios a los sectores residenciales constituyen parte de la tipología de habilitación convencional residencial (TH40 - Art. 4).
- La identificación de los usos de suelo, densidades e intensidad de uso se efectúan según los planes de desarrollo urbano de acuerdo al cuadro resumen de zonificación según artículo 33 del nuevo Reglamento de acondicionamiento territorial y desarrollo urbano D.S. 004-2011-VIVIENDA.
- Se definieron 7 tipos de vivienda, dispuestas en lotes de 500 m<sup>2</sup> y 250 m<sup>2</sup> que determinan los rangos de zona residencial de densidad baja I y densidad baja II.
- El proyecto de reasentamiento demanda mayor equipamiento que una habilitación típica, por su función de núcleo urbano requiere adicionalmente edificaciones como iglesias, local comunal, centro de salud, puesto de auxilio rápido, etc.
- De acuerdo a la ubicación y al ordenamiento de los barrios, acordado con la comunidad campesina de Fuerabamba, el área urbana se desarrollará con una configuración predominantemente lineal.
- Los espacios urbanos y las áreas públicas (plaza, parques, etc.) están jerarquizadas por su accesibilidad, relación con los barrios y con la vía principal.

- La lotización y manzaneo maximizó el número de lotes, manteniendo un área recreativa aceptable y minimizando considerablemente el área de vías vehiculares.
- Considerando la pendiente máxima normativa del plataformado para lotes de vivienda y la ubicación las áreas públicas, la distancia máxima de lotes a los espacios de recreación pública es de 300 m, el ancho mínimo del espacio para aportes de recreación pública será de 25 m netos (sin contar las veredas periféricas) con un área mínima de 800 m<sup>2</sup>.
- Se tuvo presente el acondicionamiento urbanístico y arquitectónico con respecto a las condiciones climáticas del sitio: asoleamiento, precipitaciones, humedad de suelo, riesgos sísmicos, riesgos de inundación y otras características específicas.
- La diferencia de nivel considerable entre el bandejón central y las calles paralelas en la avenida principal definida en base al plataformado de la ciudad, permiten un adecuado desarrollo de circulación peatonal vertical y cuenta con cruces vehiculares.
- Por las condiciones climáticas y el volumen de las edificaciones, se consideró orientar las viviendas en función al recorrido del sol y de esta forma optimizar la energía solar y ayudar de manera positiva en la climatización de las viviendas.

### 2.2.2 ZONIFICACIÓN

El arreglo urbano corresponde a una habilitación tipo 2, residencial de densidad baja (RDB) considerando áreas y frentes mínimos de lotes según la normatividad vigente (Título II del RNE).

La densidad neta promedio de la nueva habilitación es de 115 hab/ha. El equipamiento que proporcionan los servicios públicos a las viviendas constituye parte de la tipología de habilitación convencional residencial (TH40- Art. 4).

La identificación del uso del suelo, densidades e intensidad de uso se efectúan según los planes de desarrollo urbano de acuerdo al cuadro resumen de zonificación según artículo 33 del nuevo Reglamento de acondicionamiento territorial y desarrollo urbano D.S. 004-2011-VIVIENDA. La distribución de los usos y las áreas de cada uno de estos, se indican en el cuadro 2.1.

En la ciudad Nueva Fuerabamba existen 7 tipos de viviendas identificadas como: 2A, 2B, 2C, 3A, 3B, 1R y 2R (las características de cada tipo de vivienda se detallan en el ítem 2.3 de este capítulo). Las viviendas tipo 2A, 2B, 2C, 3A y 3B están construidas sobre lotes de 500 m<sup>2</sup> y conforman la zona residencial de densidad baja I. Las viviendas tipo 1R y 2R, están construidas sobre lotes de 250 m<sup>2</sup> y conforman la zona residencial de densidad baja II.

#### **2.2.2.1 ZONIFICACIÓN RESIDENCIAL DENSIDAD BAJA I (RDB-I)**

Conformada por 339 lotes de 500.00 m<sup>2</sup>, en los cuales se edificaron viviendas tipo 2A, 2B, 2C, 3A Y 3B, con una densidad neta de 100 hab/ha. Son viviendas de tres pisos, con 248.00 m<sup>2</sup> de área construida (sin considerar balcones, ni terrazas). Además tienen mínimo 50% de área libre y retiro frontal de 2.95 m.

Se ubican principalmente frente a la avenida principal al Este y Oeste de la alameda o frente al bandejón central, con tiendas ubicadas en el primer piso de la vivienda, este tipo de comercio está destinado a ofertar bienes y servicios predominantes de consumo diario no perecibles.

#### **2.2.2.2 ZONIFICACIÓN RESIDENCIAL DENSIDAD BAJA II (RDB-II)**

Conformada por 102 lotes de 250.00 m<sup>2</sup>, en los cuales se edificaron viviendas tipos 1R y 2R, con una densidad neta de 200 hab/ha. Son viviendas de dos pisos, con 115.00 m<sup>2</sup> de área construida (sin considerar balcones, ni terrazas). Además tienen mínimo 50% de área libre y retiro frontal de 4.10 m.

**Cuadro 2.1 – Zonificación urbana.**

ZONIFICACIÓN URBANA – USOS DEL SUELO Y AREAS				
ZONAS		DESCRIPCIÓN	AREA OCUPADA (Ha)	PORCENTAJE (%)
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	0.48
	E	EDUCACION: INSTITUCIÓN EDUCATIVA CUNA, C.E. INICIAL, INSTITUCIÓN EDUCATIVA PRIMARIA Y SECUNDARIA, CENTRO CAPACITACION COMUNAL, RESERVA DE EQUIPAMIENTO EDUCATIVO.	1.99	3.63
	S	SALUD: CENTRO DE SALUD-MINSA	0.39	0.72
	SC	SERVICIOS COMUNALES: SALON COMUNAL, PUESTO DE AUXILIO RAPIDO, TALLER, TIENDA DE ARTESANIA Y SALA DE EXPOSICIONES.	0.11	0.19
	OU	OTROS USOS: IGLESIAS, MUSEO, PARADERO DE BUSES-TERMINAL	0.84	1.53
ESPACIOS PUBLICOS	ZR	ZONA DE RECREACION: PLAZA PRINCIPAL, PARQUES (APORTE)	4.39	8.00
	PZ	PARQUE ZONAL (APORTE)	1.10	2.00
		AREA VERDE – RECREACIÓN COMPLEMENTARIA (ZONAS DE TALUD ENTRE LOTES, BANDEJON CENTRAL, JARDINES).	11.96	21.78
SERVICIOS PUBLICOS		- PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) Y RESERVORIO (VER NOTA 5) - ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA - PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) (VER NOTA 3 Y 5)	0.03	0.05
VIAS		VIAS PRINCIPAL Y SECUNDARIAS	13.65	24.86
TOTAL			54.92	100.00

Fuente: Memoria de habilitación urbana – GMI S.A.

### 2.2.3 APORTES

El parque zonal es una zona recreativa concentrada que se ubica en el Este de la ciudad, constituye la reserva para recreación y de paisaje que sirve a todo el conjunto urbano. Los ejes viales transversales rematan visualmente este espacio.

Adicionalmente a este aporte, el proyecto de reasentamiento ha demandado mayor equipamiento que una habilitación típica, por su función de núcleo urbano requiere edificaciones como iglesias, local comunal, centro de salud, etc.

Los porcentajes de aportes mínimos normativos para la habilitación urbana son: Recreación 8%, educación 2%, parque zonal 2% y otros fines 1%. Todos en relación al área urbana a habilitar que es 549,192.57 m<sup>2</sup>.

**Tabla 2.1 - Aporte urbanos de proyecto.**

AREAS DEL PROYECTO	m <sup>2</sup>
Área bruta del terreno	1'259,770.97
Área urbana bruta	549,192.57
Área útil de lotes	201,898.05
Área de circulación: vías, pasajes	136,539.71

APORTES REGLAMENTARIOS	
Área de recreación	43,935.42
Área parques zonales	10,996.42
Área para Ministerio de Educación	19,926.51
Otros fines (áreas verdes, salud, otros)	135,896.46
Zona de protección	709,550.90

Fuente: Memoria de habilitación urbana – GMI S.A.

La entrega de obras se realizó en dos etapas, en la tabla 2.2 se indica la cantidad de lotes y aportes que conforma cada etapa.

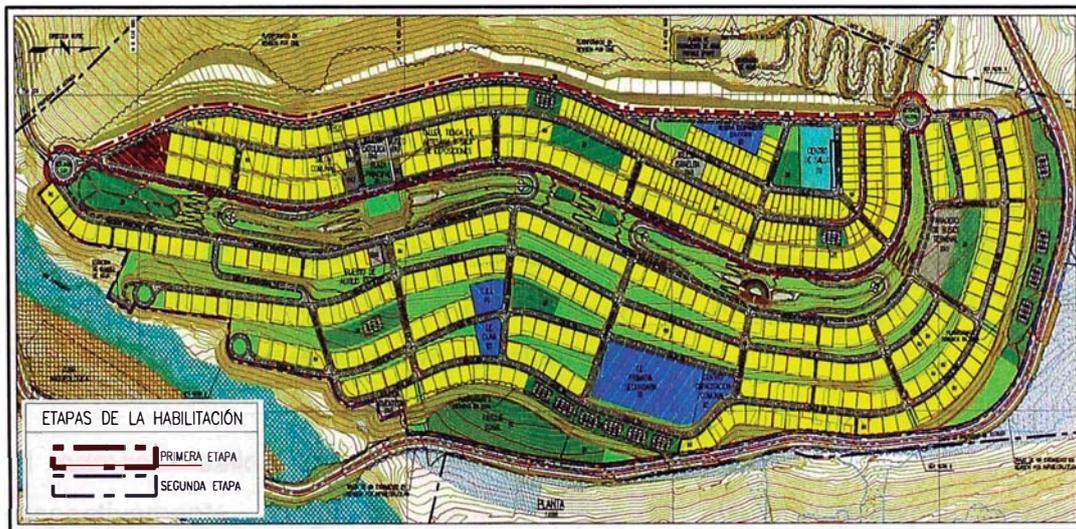


Figura 2.5 - Mapa de zonificación.

Tabla 2.2 - Aportes urbanos por etapas.

ETAPAS	m <sup>2</sup>
<b>ETAPA 1</b>	<b>163,493.31</b>
Cantidad de lotes	211 Lotes
Área útil de lotes	79,391.79
Área de circulación: vías, pasajes	57,130.06
Área de recreación	7,846.23
Área para Ministerio de Educación	2,385.17
Otros fines (áreas verdes, salud, otros)	16,739.78

<b>ETAPA 2</b>	<b>385,699.26</b>
Cantidad de lotes	246 Lotes
Área útil de lotes	122,506.26
Área de circulación: vías, pasajes	79,285.36
Área de recreación	36,089.19
Área para Ministerio de Educación	17,541.06
Área parques zonales	10,996.42
Otros fines (áreas verdes, salud, otros)	119,280.97

Fuente: Memoria de habilitación urbana – GMI S.A.

## 2.2.4 VIALIDAD

El sistema vial de ciudad está compuesto por una estructura de vías jerarquizadas de acuerdo al tipo de habilitación residencial (RNE-GH20)<sup>6</sup>. Las vías que componen el sistema vial de la ciudad Nueva Fuerabamba son las siguientes: Vías primarias y vías secundarias.

El ingreso - salida de la ciudad se plantea por los extremos Norte – Sur respectivamente, luego se extiende por la avenida principal cruzando lateralmente la plaza principal y llegar hasta el otro extremo. Además se cuenta con una vía de evitamiento de 6.60 m de ancho fuera de la ciudad.

### 2.2.4.1 VÍAS PRIMARIAS

Está compuesta por dos tipos: Vía principal y de borde.

**Vía principal**, su trazado es longitudinal y estructura la ciudad de un extremo a otro. Esta vía es la que debe absorber los mayores flujos vehiculares, sirve a los flujos de integración, admite rutas de transporte urbano e interurbano.

<sup>6</sup> Reglamento Nacional de Edificaciones RNE (2006), GH-20 Componentes del diseño urbano.

Cuenta con señalización, veredas, estacionamientos en cada frente de lote, dos módulos de calzada, iluminación apropiada, bermas laterales, permite tránsito peatonal seguro y cuando la sección lo permita integra arborización para generar sombra. Se desarrollan 2 pares de cruces vehiculares a manera de retornos. Su ancho varía desde 36.00 m hasta 74.50 m.

**Vía de borde**, su trazado es periférico a la ciudad, hacia el lado oeste, bordea el manzaneo principal y da frente a la zona de banquetas de protección en ladera. Su sección está prevista para la circulación de vehículos de 8 pasajeros y camiones de hasta 5 tn, en doble sentido principalmente vinculados al mercado de abastos. La vía de borde tiene una sección mayor a 10 m por criterio geotécnico y respetando la distancia mínima entre el pie de corte de talud y las viviendas.

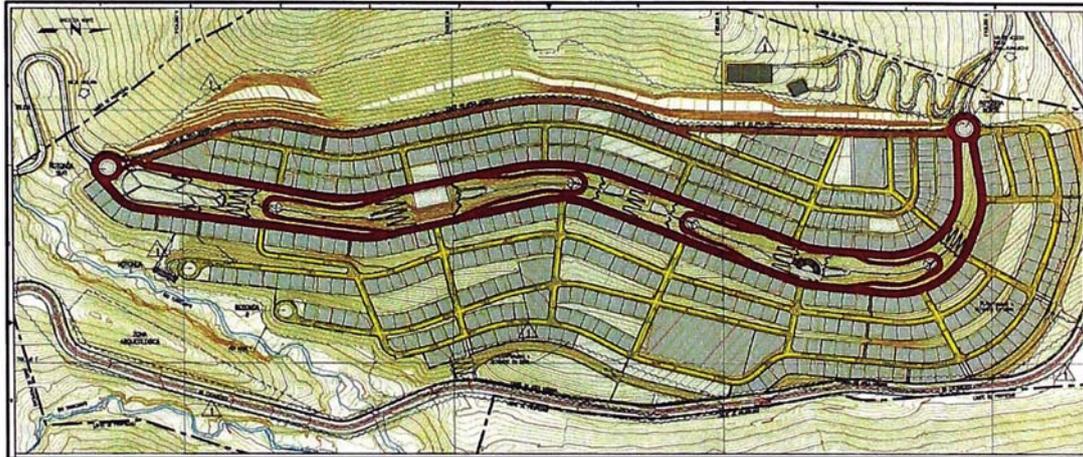
#### 2.2.4.2 VÍAS SECUNDARIAS

**Vías secundarias longitudinales**, se desarrollan paralelas a la vía principal, uniendo las vías de borde. En el sector Este estas vías tienen su continuidad limitada y está resuelta con retornos vehiculares. Son las vías que posibilitan el acceso a las distintas manzanas urbanas y a las viviendas. Son de doble sentido y cuentan con estacionamiento lateral, veredas en cada frente que habilite a lote, dos módulos de calzada, estacionamiento, iluminación apropiada, arborización, elementos de seguridad y comodidad para los peatones.

**Vías secundarias transversales** a las vías principales. Estas vías llegan a pendientes máximas de hasta 12% para lo cual integran rampas desarrolladas en las bermas como adecuación urbanística para discapacitados. Tienen dos módulos de veredas, dos módulos de calzada y un módulo de estacionamiento.

**Estacionamientos en la vía pública**, en caso de que existan estacionamientos en la vía pública, será computable para edificaciones de vivienda, equipamiento y comercio.

Finalmente la distancia máxima entre dos intersecciones de vías de tránsito vehicular será de 300 m, medida en los extremos de las manzanas. En las vías que no sean vehiculares se determinará por pasajes, calles, parques.



JERARQUIZACIÓN DE VIAS		
CODIGO	NOMBRE DE VIA	ANCHO DE VIA
	VIA LOCAL PRINCIPAL	36.00 HASTA 74.50 METROS
	VIA LOCAL SECUNDARIA	7.80-9.60-10.30-10.80-11.50 METROS
	VIA LOCAL SECUNDARIA DE BORDE	11.40-12.00 METROS
	VIA DE EVITAMIENTO	6.60 METROS

Figura 2.6 - Mapa de jerarquía de vías.

## 2.2.5 ACCESIBILIDAD A DISCAPACITADOS

De acuerdo al RNE Título II, norma GH.020, Capítulo II, artículo 18 y la Norma de adecuación urbanística para discapacitados, se consideró:

- Las veredas en pendiente tienen descansos de 1.20 m de longitud, de acuerdo a lo siguiente: Cada 15 m como máximo en pendientes de hasta 8%. Cada 10 m como máximo en pendientes de hasta 10%. Cada 5 m como máximo en pendientes de hasta 12%.
- Ubicación de pasajes peatonales con rampas para discapacitados.

- En vías transversales, cuyo sentido predominante es de Este a Oeste, con 8.6% de pendiente, se tiene rampas para discapacitados de 10% de pendiente con descansos cada 7.8m.
- En vías transversales, cuyo sentido predominante es de Este a Oeste, con 9.6% de pendiente, se tiene rampas para discapacitados de 12% de pendiente con descansos cada 5m.
- En vías transversales que superan la anterior con un máximo de 12% se tienen rampas en “U” en las bermas.

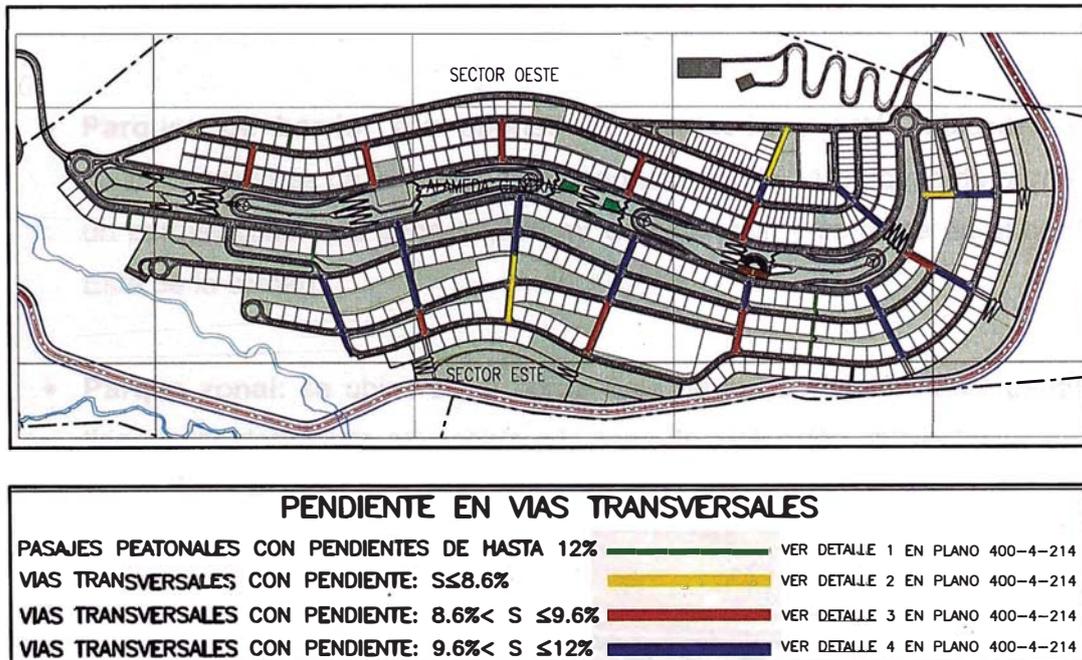


Figura 2.7 - Mapa de pendiente de vías.

## 2.2.6 ESPACIOS URBANOS

La organización y distribución general del uso del suelo en la ciudad Nueva Fuerabamba, se interconecta mediante la ubicación de los espacios urbanos (plaza principal, separador central, parques de barrio y parque zonal). La ubicación de los espacios urbanos se ilustra en la figura 2.8. La descripción de cada uno de los espacios urbanos se describe a continuación en orden de jerarquía:

- **Plaza principal:** sobre la que se integran los equipamientos urbanos céntricos y que caracteriza a la ciudad será usada para actividades cívicas y culturales, rematando visualmente en el volumen de la Iglesia. En sus alrededores se encuentran los principales equipamientos urbanos como toda ciudad. Comprende un área de 1,148 m<sup>2</sup>.
- **Separador central:** se ubica en el bandejón central de la ciudad. Ahí se desarrollan un conjunto de caminos peatonales a todo lo largo de la vía principal que constituyen un núcleo de articulación entre el sector Este y Oeste de la ciudad que tienen una considerable diferencia de nivel (8 a 27 m). La longitud del separador central es de 1450 m, con un ancho promedio de 50 m.
- **Parques de barrio:** son aportes de recreación y están ubicados en distintos sectores de la ciudad sumando un total de 11 parques de barrio y un parque zonal que tiene 10,996 m<sup>2</sup> de extensión y se ubica en el borde Este de la ciudad.
- **Parque zonal:** se ubica en el borde Este de la habilitación. Este parque tiene losas deportivas adyacente a la zona de protección ambiental

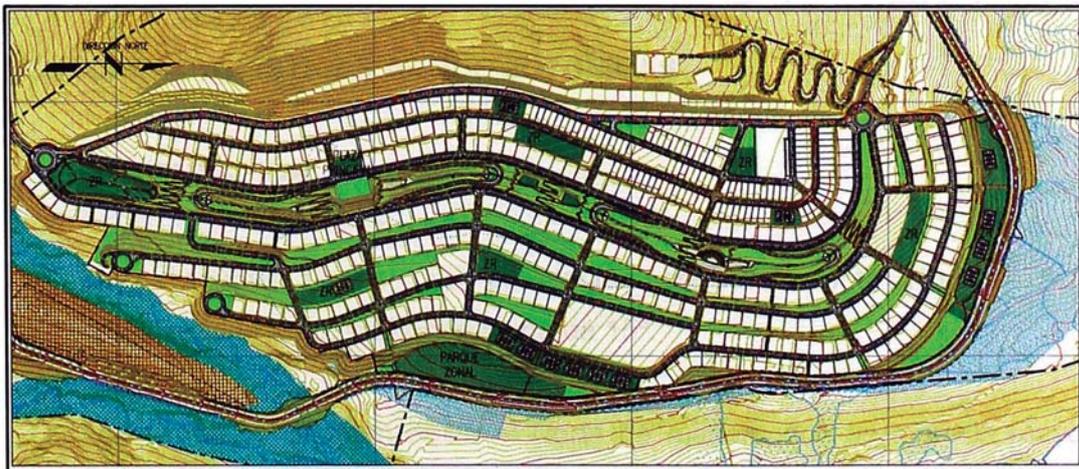


Figura 2.8 - Mapa de espacios urbanos.

## 2.2.7 INFRAESTRUCTURA Y PAVIMENTOS

- En calles vehiculares, peatonales, plazas y plazoletas se consideró un sistema de evacuación de aguas lluvia, mediante cunetas con pendientes normativas, que no obstaculizan la circulación de los peatones.
- Para el alumbrado público se consideró la densidad, la distribución y la potencia de luminosidad exigidas por las normas. Además se utilizó luminarias de bajo consumo eléctrico en calles, plazas y plazoletas de acuerdo al tipo y cantidad de luz requerida por el RNE.
- El pavimento de veredas y calles es antideslizante. Alternativamente se construyeron pavimentos mixtos más permeables tales como bloques de cemento, piedras, mamposterías.
- Se utilizaron materiales reciclados y/o con contenidos de reciclado para pavimentos, plazas, muros de contención, drenes, etc.

## 2.3 VIVIENDAS

### 2.3.1 CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS

- **ORIENTACIÓN**

Las viviendas tienen una orientación preferentemente Norte - Sur, admitiendo una desviación máxima de 15°.

Los vanos se orientan hacia el Norte de manera que se logre la mayor captación de calor durante horas del día; aproximadamente hasta las 3 pm.

## • ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL

La construcción presenta compacidad en su forma, reduciendo el contacto de su superficie con el exterior, de esta manera se incrementará la capacidad del edificio para acumular calor.

Las fachadas se pintaron en colores de la siguiente gama de ocre y marrones: Pantone 448C al 510 C, Pantone 7499C al 7530C, Pantone 4625U al 5035U, Pantone 7506U al 7526 U; para mejorar las condiciones térmicas en el interior de la vivienda. No se usaron colores azules, ni verdes pues los pigmentos en esos colores se degradan fácilmente con los rayos ultravioletas.

Se utilizaron ventanas de vidrio insulado; de manera que funcionan como termo panel, pero no presurizadas. El porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a los paramentos verticales de la envolvente no fue superior al 28%.

Los cimientos fueron impermeabilizados de esta manera se evita el humedecimiento del muro por capilaridad desde su base.

El nivel del piso interior del primer nivel de la vivienda se encuentra 0.15 m. por sobre el nivel de plataformado en el ingreso, para evitar que el agua de lluvias ingrese al interior de las viviendas.

Para los muros exteriores se utilizó un sistema de doble placa de concreto armado de 0.10 m. de espesor c/u, distanciados 0.05 m donde se ubicó un aislamiento térmico intermedio de planchas de poliestireno expandido (tecnopor); de tal manera se asegura índices de resistencia térmica adecuados. Para los muros interiores se usaron placas de concreto de 0.10 m. de espesor.

La altura libre comprendida entre el acabado final del piso y el cielo raso fue de 2.30 m de altura.

Los techos tienen un aislamiento térmico de lana de vidrio entre el falso cielo y la estructura metálica que soporta la cobertura impermeable de fibrocemento. La cobertura tiene una pendiente de veintidós grados ( $22^\circ \approx 40\%$ ) como mínimo para garantizar la evacuación de aguas pluviales, granizo y nieve. La evacuación del agua de lluvia se controla mediante las pendientes, canaletas y la bajada de montantes.

- **FUNCIONALIDAD**

Los servicios higiénicos están alineados verticalmente, para optimizar los ductos para las montantes de desagüe.

Se tiene un sistema de cocina mejorada, que a su vez contribuye al confort térmico de la vivienda. Esta cocina ventila hacia el exterior mediante una chimenea metálica.

En la cocina se tiene un tablero de trabajo de concreto, con una poza de acero inoxidable que recibe un lavadero con escurridera; se tiene muebles bajos con puertas de melamina.

El invernadero contará con una salida de agua, mas no considera salidas eléctricas (alumbrado, tomacorrientes). El techo, la puerta y las paredes del invernadero serán de malla agro o similar, incoloro, anti rayos UV y con orientación hacia el norte; y se apoyara sobre una estructura de madera rolliza que estará sobre un parapeto de adobe de 0.20m.

### **2.3.2 TIPOS DE VIVIENDAS**

Se tiene 7 tipos de vivienda, según los acuerdos entre la comunidad de Fuerabamba y los representantes de la empresa minera Glencore-Xstrata, dispuestas en lotes de 500 m<sup>2</sup> y 250 m<sup>2</sup> con la siguiente distribución:

En los lotes de 500.00 m<sup>2</sup> se construyeron viviendas tipo 2A, 2B, 2C, 3A y 3B; que suman un total de 339 viviendas que albergarán a 4 personas de manera permanente y 4 invitados eventuales. Este tipo de viviendas serán asignadas a las familias residentes de la actual comunidad campesina de Fuerabamba.

En los lotes de 250.00 m<sup>2</sup> se construyeron viviendas tipo 1R y 2R; que suman un total de 102 viviendas que albergarán a 4 personas de manera permanente. Este tipo de viviendas serán asignadas a las familias retornantes a la ciudad Nueva Fuerabamba.

- **Vivienda tipo 2A (217 unidades)**

Construida sobre un lote de 500 m<sup>2</sup>, con 248.00 m<sup>2</sup> de área construida (sin considerar balcones ni terrazas). Presenta la siguiente distribución en sus tres niveles:

El primer nivel dispone de un área comercial (tienda), con acceso directo desde la calle; un área social conformada por sala, comedor, cocina convencional y cocina mejorada (adyacente a la cocina convencional). Desde la cocina convencional se puede acceder al jardín posterior, donde se encuentran el invernadero y el depósito. Además el primer nivel cuenta con un dormitorio, un baño y se relaciona con los dos niveles superiores mediante una escalera situada entre el área comercial y el área social.

En el segundo nivel se ubica el área íntima familiar, la cual está compuesta por 4 dormitorios y un baño.

El tercer nivel está compuesto por 3 dormitorios para invitados, un baño y una terraza; que conforman el área para invitados.

- **Vivienda tipo 2B (4 unidades)**

Construida sobre un lote de 500 m<sup>2</sup>, con 248.00 m<sup>2</sup> de área construida (sin considerar balcones ni terrazas). Presenta la siguiente distribución en sus tres niveles:

El primer nivel dispone de un área comercial (tienda), con acceso directo desde la calle; un área social conformada por sala, comedor, cocina convencional y cocina mejorada (adyacente a la cocina convencional). Desde la cocina convencional y el comedor se puede acceder al jardín posterior, donde se encuentran el invernadero y el depósito. Además el primer nivel cuenta con un baño y se relaciona con los dos niveles superiores mediante una escalera situada entre el área comercial y el área social de la vivienda.

En el segundo nivel se ubica el área íntima familiar, la cual está compuesta por 4 dormitorios, dos baños y una sala de estar.

El tercer nivel está compuesto por 4 dormitorios para invitados, 2 baños y un estar íntimo; que conforman el área para invitados.

- **Vivienda tipo 2C (32 unidades)**

Construida sobre un lote de 500 m<sup>2</sup>, con 248.00 m<sup>2</sup> de área construida (sin considerar balcones ni terrazas). Presenta la siguiente distribución en sus tres niveles:

El primer nivel dispone de un área comercial (tienda) con acceso directo desde la calle; un área social conformada por sala, comedor y cocina convencional (incluyendo el módulo de cocina mejorada) y un baño. Desde el comedor se puede acceder al jardín posterior, donde se encuentran el invernadero y el depósito. Los tres niveles se integran mediante una escalera situada entre el área comercial y el área social de la vivienda.

En el segundo nivel se ubica el área íntima familiar, la cual está compuesta por 4 dormitorios y 2 baños.

El tercer nivel está compuesto por 4 dormitorios para invitados y 2 baños; que conforman el área para invitados.

- **Vivienda tipo 3A (2 unidades)**

Construida sobre un lote de 500 m<sup>2</sup>, con 248.00m<sup>2</sup> de área construida (sin considerar balcones ni terrazas). Presenta la siguiente distribución en sus tres niveles:

El primer nivel dispone de un área comercial (tienda) con acceso directo desde la calle; un área social conformada por sala, comedor y cocina convencional (incluyendo el módulo de cocina mejorada) y un baño.

Desde el comedor se puede acceder al jardín posterior, donde se encuentra el invernadero y el depósito. Los tres niveles se integran mediante una escalera situada entre el área comercial y el área social de la vivienda.

En el segundo nivel se ubica el área íntima familiar, la cual está compuesta por 4 dormitorios y 2 baños.

El tercer nivel está compuesto por 4 dormitorios para invitados y 2 baños; que conforman el área para invitados.

- **Vivienda tipo 3B (84 unidades)**

Construida sobre un lote de 500 m<sup>2</sup>, con 248.00 m<sup>2</sup> de área construida (sin considerar balcones ni terrazas). Presenta la siguiente distribución en sus tres niveles:

El primer nivel, dispone de un área comercial (tienda) con acceso directo desde la calle; un área social conformada por sala, comedor y cocina convencional (incluyendo el módulo de cocina mejorada).

Desde el comedor y la cocina se puede acceder al jardín posterior, donde se encuentra el invernadero y el depósito. Además el primer nivel cuenta con un dormitorio, un baño y se relaciona con los dos niveles superiores mediante una escalera situada entre el área comercial y el área social de la vivienda.

En el segundo nivel se ubica el área íntima familiar, la cual está compuesta por 4 dormitorios y 2 baños.

El tercer nivel está compuesto por 3 dormitorios para invitados, 2 baños y una terraza; que conforman el área para invitados.

- **Vivienda tipo 1R (59 unidades)**

Construida sobre un lote de 250 m<sup>2</sup>, con 115.00 m<sup>2</sup> de área construida (sin considerar balcones ni terrazas). Presenta la siguiente distribución en sus dos niveles:

En el primer nivel, desde el ingreso se llega a un área social conformada por sala y cocina - comedor convencional. Desde el corredor se puede acceder a un amplio jardín posterior. Además el primer nivel cuenta con un dormitorio, un baño y se relaciona con el segundo mediante una escalera central.

En el segundo nivel se ubica el área íntima familiar, la cual está dispuesta por dos dormitorios, un baño y una terraza (Ver anexo 1 - Planos de arquitectura – Vivienda tipo 1R).

- **Vivienda tipo 2R (43 unidades)**

Construida sobre un lote de 250 m<sup>2</sup>, con 115.00 m<sup>2</sup> de área construida (sin considerar balcones ni terrazas). Presenta la siguiente distribución en sus dos niveles:

En el primer nivel, desde el ingreso se llega a un área social conformada por sala y cocina-comedor convencional. Desde el comedor se puede acceder al jardín posterior. Este nivel cuenta con un baño, y se relaciona con el segundo mediante una escalera central.

En el segundo nivel se ubica el área íntima familiar, la cual está dispuesta por tres habitaciones, un baño.

Todas las viviendas cuentan con un espacio de estacionamiento al interior del lote.

### 2.3.3 MATERIALES Y ACABADOS

El sistema estructural utilizado para las viviendas está compuesto por dos placas de concreto armado ( $e = 0.10$  m) con aislamiento térmico intermedio de planchas de poliestireno expandido ( $e = 0.05$  m), para los muros exteriores. Además de placas de concreto armado ( $e = 0.10$  m) para muros interiores. Los entresijos son losas macizas de concreto armado ( $e = 0.13$  m).

El techo final (2° piso en las viviendas tipo 1R y 2R; 3° piso en las viviendas tipo 2A, 2B, 2C, 3A y 3B) está conformado por una estructura metálica y una cobertura de plancha decorativa de fibrocemento tipo Teja Andina.

Los acabados a utilizar son los siguientes:

- **Muros interiores**

En la tienda, sala, comedor, dormitorios, estar, corredor y escalera se instaló un papel mural, tipo gofrado, color beige o similar de  $180-185$  gr/m<sup>2</sup>, de papel hilado e impresiones resistentes a la luz, resistente a la humedad y a la tracción; este papel mural se instala sobre una capa de base mural.

En la cocina, cocina mejorada y SSHH; los muros fueron pintados con pintura látex lavable.

Todos los ambientes anteriormente expuestos fueron solaqueados antes de aplicarse el acabado, salvo los ambientes que presenten papel mural donde sólo se realizó un emporrado con pasta mural en las hendiduras generadas por defectos del encofrado.

- **Muros exteriores**

Los muros exteriores de la vivienda fueron solaqueados y pintados con pintura látex texturada y lavable. En las terrazas se tienen parapetos construidos con bloquetas de concreto que fueron solaqueados y pintados con pintura látex texturada y lavable.

- **Pisos**

En la tienda, cocina, cocina mejorada y balcones (independientes) se tiene piso acabado en cemento pulido color natural. El depósito exterior tiene piso de cemento frotachado.

La escalera tiene un acabado de piso de cemento semi pulido color natural, con bruñas en los cantos. La terraza y balcones (integrados a terrazas) tienen pisos de cemento semi pulido color natural impermeabilizado.

La sala, comedor, estar y dormitorios tiene piso vinílico  $e=1.60$  mm, baldosas cuadradas de 30.5 cm x 30.5 cm. El piso de los servicios higiénicos es de cerámico Celima serie América o similar, color blanco de 30 cm x 30 cm; la fragua usada en duchas tendrá aditivos impermeabilizantes.

En todos los cambios de acabado de piso se utiliza un perfil de transición de aluminio.

- **Zócalos y contrazócalos**

En los exteriores de la vivienda, en el primer piso el zócalo es de cemento pulido color natural con una altura de 0.60 m, el contrazócalo en el interior de las terrazas y balcones es de cemento pulido color natural y su altura es 0.15 m.

En la escalera, el contrazócalo es de cemento pulido color natural con una altura de 0.05 m.

En los servicios higiénicos, el zócalo es de cerámico Celima serie América, color blanco de 30 cm x 30 cm; con un altura de 1.80 m en la cabina de la ducha y 0.10 m en el resto del ambiente (el poyo de concreto que contiene la montante del inodoro será revestido en su totalidad por este cerámico).

En el resto de ambientes interiores se tiene un rodón de madera barnizada al natural de  $\frac{3}{4}$ " x  $\frac{3}{4}$ " de espesor o similar.

- **Carpintería de puertas**

Puerta metálica de 2 hojas tipo reja en garaje, pintada con base epóxica y esmalte sintético. Puerta metálica de 1 hoja tipo reja en garaje, pintada con base epóxica y esmalte sintético.

Puerta de madera apanelada de 1 hoja, con marco de madera pino radiata, con acabado en laca ambas caras y barniz marino preparado sólo en la cara exterior. Puerta de madera apanelada de 2 hojas con marco de madera pino radiata, con acabado en laca 2 caras y barniz marino preparado, solo cara exterior.

Puerta contraplacada de 1 hoja, tiene marco de madera pino radiata y acabado con pintura látex. Puerta del depósito, placa de fibrocemento con bastidores de madera y marco de madera pino radiata, acabado en pintura látex.

Las maderas que se utilizan son: Pino radiata, Bolaina blanca, Eucalipto o similares. Toda la cerrajería de puertas es nacional.

- **Mueble de cocina**

El mueble está conformado por un tablero de concreto armado acabado con cemento pulido color natural y las puertas son de melamine color blanco (e = 18 mm) con tapacanto de PVC delgado color blanco de 18 x 0.4 mm, tiradores de PVC de 96 mm y bisagras tipo cangrejo de 110°.

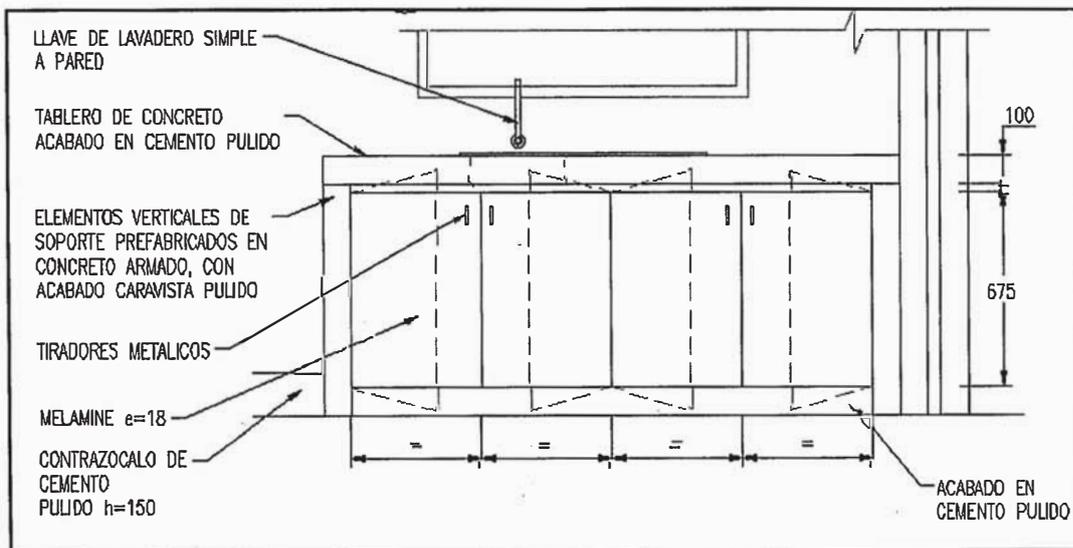


Figura 2.9 – Detalle del mueble de cocina.

- **Closet**

Cada dormitorio tiene un closet típico compuesto por tableros de melamine color blanco (e = 18 mm) con tapacanto de PVC delgado color blanco de 18 x 0.4 mm, tiradores de PVC de 96 mm y bisagras tipo cangrejo de 110°, dos bridas tipo "U", con soporte central de acero cromado para colgadores, escuadras de fijación 4" x 2" y un tubo ovalado de acero cromado que servirá de colgador.

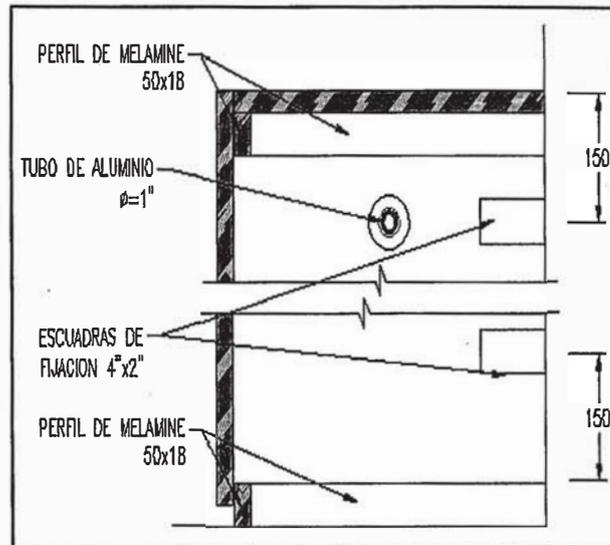


Figura 2.10 – Detalle del closet.

- **Barandas y pasamanos**

Los pasamanos son listones de madera de 3" x 2" con esquinas boleadas  $r=15$  mm, en todas las escaleras y balcones. Los pasamanos se instalaron sobre barandas metálicas, con tornillos autorroscantes para madera. El acabado de los pasamanos interiores es con laca a la piroxilina y en exteriores es con barniz marino color natural.

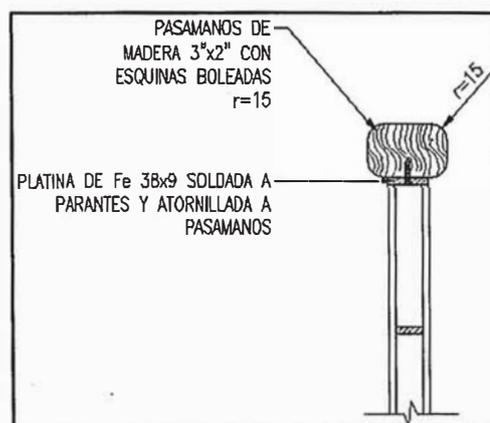


Figura 2.11 – Detalle de pasamanos.

- **Ventana de aluminio**

En las ventanas son insuladas y utilizan el sistema proyectante, con marco de aluminio y contramarco de madera.

Las ventanas tienen vidrio primario incoloro, la cerrajería de las ventanas es nacional. Existen dos tipos de ventanas (según sus dimensiones):

Ventana tipo V-1, tiene una medida de 1.20 x 1.20 m.

Ventana tipo V-2, tiene una medida de 0.60 x 0.60 m.

Adicionalmente a las ventanas, se colocaron unas rejillas de ventilación de PVC pesado de 0.30 m x 0.30 m.

- **Aparatos sanitarios**

Inodoro de descarga horizontal en color blanco que tiene asiento pesado de PVC en color blanco. Lavatorio en color blanco, sin pedestal. Lavadero de acero inoxidable 0.50 m x 1.00 m, con una poza con escurridor.

La grifería mezcladora para lavatorio de bronce cromado de 4" es nacional y de baja presión. La llave de lavadero simple a la pared de 4" es de bronce cromado. Tiene grifo jardinero empotrado. La mezcladora empotrada para ducha de 8" es nacional y de baja presión.

Kit de accesorios sanitarios de losa color blanco es para sobreponer incluye: papelera, jabonera, gancho, barra de aluminio para cortina, desagüe de PVC y trampa de PVC.

- **Cielos rasos y falsos cielos rasos**

Los cielos rasos y falsos cielos rasos tienen un acabado con pintura látex en color blanco.

Los falsos cielos rasos, son de placa de yeso estándar de 1/2" de espesor, con lana de vidrio y estructura galvanizada y pintado. Su estructura es auto soportante apoyada en muros y/o colgada de la estructura metálica del techo de las viviendas.

Sobre el cielo raso se coloca un aislamiento termo acústico fabricado con fibra de vidrio de baja densidad  $13 \text{ kg/m}^3$ , aglutinada con resina fenólica de fraguado térmico, presentado en rollos con barrera de vapor de papel kraft asfaltado de 2.5" de espesor.

- **Cocina mejorada**

El fogón de la cocina mejorada, tiene su estructura a base de bloquetas de concreto, con acabado solaqueado.

Tiene adicionalmente un recubrimiento de ladrillo pastelero macizo (0.25 x 0.25 x 0.025 m), en la zona de la hoguera, incluye además plancha de fierro fundido (0.40 x 0.80 x 0.006 m) y chimenea de tubo de acero galvanizado 0.13 m de diámetro (sólo en las viviendas 2A, 2B, 2C, 3A y 3B).

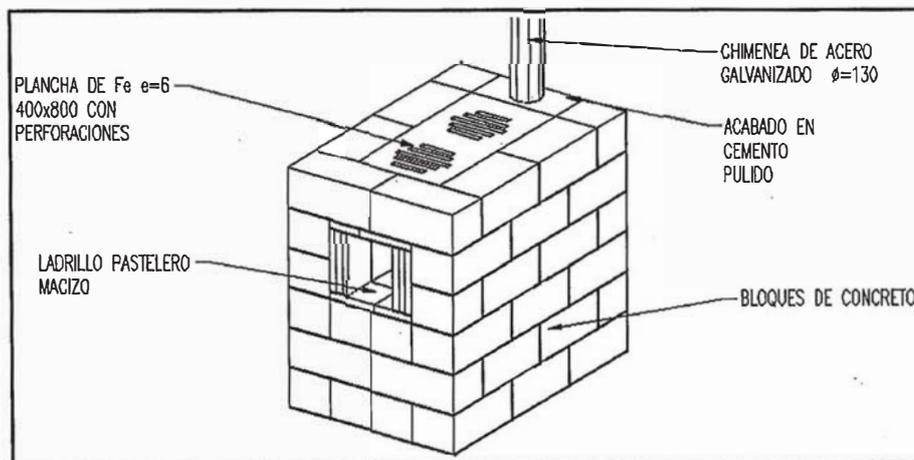


Figura 2.12 – Detalle de Cocina Mejorada.

### 2.3.4 ESTRUCTURAS

Esta parte del informe describe las características estructurales de las 441 viviendas que forman parte del proyecto Nueva Fuerabamba.

- **Suelo de cimentación**

El tipo de cimentación de las viviendas corresponde a plateas de cimentación que se asientan en terrenos de diferentes características, para lo cual se utilizó el menor valor de presión admisible encontrada en el estudio de mecánica de suelos,  $1.20 \text{ kg/cm}^2$ .

- **Estructuración**

El sistema estructural consiste en muros de concreto armado de ductilidad limitada y losas macizas de concreto armado. Los muros interiores son de 100 mm de espesor y los exteriores son muros dobles con una separación de 50 mm donde se coloca planchas de poliestireno expandido, como material aislante térmico, generando un muro de 250 mm de espesor total. Todos los muros forman el sistema portante para cargas de gravedad y sollicitaciones horizontales

Los techos intermedios son losas macizas de 130 mm, salvo en las terrazas donde el espesor es de 100 mm, porque requiere un contrapiso impermeable. Las losas se apoyan en todos los muros, inclusive en el caso de los muros dobles perimetrales, donde se integran estructuralmente con los dos muros sin considerar la zona de 50 mm para el aislamiento térmico.

El techo del último nivel es liviano con una pendiente de 40%, la estructura consiste de armaduras metálicas sobre las que descansan viguetas "Z" para sostener la cobertura del tipo teja andina de fibrocemento. Todos los techos se diseñaron para soportar un termo tanque que tiene un panel solar que se instaló para el funcionamiento del termo tanque.

La cimentación es una platea de concreto armado de 200 mm, con vigas de cimentación en todo el perímetro de 600 mm de peralte para el caso de suelos blandos y para el caso de suelos duros se utilizó una viga de 400 mm de peralte.

Los cercos de cada lote están compuestos por bloques de concreto vibrado, cimentados con cimiento corrido de concreto simple y sobre cimiento armado.

Las estructuras de todas las viviendas están diseñadas para soportar cargas de gravedad, nieve y cargas horizontales de viento y sismo (Ver anexo 2 – Planos de estructuras – Vivienda tipo 1R).

### 2.3.5 INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Dentro de las instalaciones eléctricas residenciales no se suministra la caja porta medidor, el medidor, el sistema de protección y ni el conductor de acometida. De acuerdo a la normatividad actual será la empresa concesionaria Electro Sur Este (ELSE) quien suministre e instale estas acometidas domiciliarias.

El alimentador desde la caja porta medidor al tablero general de cada vivienda, es instalado en una canalización de PVC-P por la losa de cimentación. El tablero general es trifásico y ha sido diseñado de acuerdo a la máxima demanda calculada para cada tipo de vivienda.

La barra de puesta a tierra del tablero de distribución general está conectada al pozo de puesta a tierra con conductor de cobre desnudo de 10mm<sup>2</sup>. El pozo de puesta tierra está formado por un electrodo copper weld y relleno tratado. El pozo de puesta tierra deberá tener una resistencia no mayor a 25 ohm.

El conductor de puesta a tierra va entubado dentro de los muros y losas de concreto, hasta tener contacto con el terreno natural para que sea enterrado. Del tablero general parten los circuitos de tomacorrientes y alumbrado, a través de canalizaciones de PVC-P (empotradas en piso, pared y/o techo) con conductores de cobre con aislamiento tipo TW.

En la distribución de alumbrado, se dejó salidas de alumbrado incluyendo portalámparas (wall sockets).

Durante la etapa de construcción de las viviendas, sólo se suministró e instaló las tuberías de PVC-P, conductores TW, cajas rectangulares y octogonales, interruptores y tomacorrientes. Asimismo se suministró e instaló el tablero general y el pozo de puesta tierra de cada vivienda.

Los calentadores de agua sólo funcionan en modo solar, pero se deja entubado para el cable de fuerza y no se prevee alimentación eléctrica.

También se considera el entubado para sistemas de comunicaciones, y circuitos de televisión. (Ver anexo 3 – Planos e Instalaciones eléctricas – Vivienda tipo 1R).

- **Materiales**

A continuación, se describen brevemente los materiales utilizados para las instalaciones eléctricas de las viviendas:

**Cables eléctricos:** Los conductores son de cobre electrolítico de 99.9% de conductividad, con aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC), flexible; fabricado a norma NTP 370.252. Tensión de servicio de 450/750 V, temperatura de operación 80°C. Tipo TW.

**Conductores o tuberías:** Se utilizaron tuberías a base de la resina termoplástico policloruro de vinilo (PVC) no plastificado, rígido, resistente a la humedad y a los químicos, retardante al fuego, resistentes al impacto, al aplastamiento y a las deformaciones provocadas por el calor en las condiciones normales de servicio y, además resistentes a las bajas temperaturas, de acuerdo a la N.T.P. 399.006.

**Cajas de pase para alumbrado, tomacorriente y fuerza:** Las cajas son construidas de fierro galvanizado, tipo pesado americano, con espesor mínimo de 1.27 mm.

**Tablero de distribución general:** Es del tipo riel DIN diseñados de acuerdo a normas nacionales, fueron fabricados para empotrar, tienen grado de protección IP40, en material termoplástico. El panel opera a una tensión de 400-230 VAC, 3F+N/T, 60Hz, 10kA. Los interruptores termomagnéticos y diferenciales son del tipo Riel DIN.

**Tomacorrientes, pulsadores e interruptores:** Los tomacorrientes e interruptores se suministran con sus tornillos de fijación. Los tomacorrientes son bipolares 15A, 220Vac, 60Hz, con ranura para espiga de tierra, las ranuras para las fases son universales. Interruptores unipolares simples, dobles y triples de 250V y 10A.

**Puesta a tierra:** Los cables de puesta a tierra son de cobre desnudo electrolítico blando, de 10mm<sup>2</sup>. La varilla de puesta a tierra es de tipo Copperweld, con conector de bronce en su extremo. Las varillas son de 20mm Ø x 2.4m longitud.

### 2.3.6 INSTALACIONES SANITARIAS

El sistema de abastecimiento de las viviendas es directo, es decir, que de la red general de agua se deriva una conexión domiciliar que abastece a todos los puntos de consumo a cualquier hora del día. Sin la necesidad de contar con una cisterna de almacenamiento.

De acuerdo al cálculo hidráulico de la tubería de alimentación tiene una conexión domiciliar de 3/4" de diámetro. La red exterior suministra a cada vivienda una presión en los rangos de 20 m y 50 m de columna de agua, suficiente para abastecer las viviendas de dos y tres pisos, en forma directa (Ver anexo 4 – Plano de instalaciones sanitarias – Vivienda tipo 1R).

- **Sistema de agua fría y caliente**

Para el suministro y distribución de agua fría se un alimentador principal de DN 32mm que abastecerá toda la vivienda.

Las tuberías de agua fría son de Polipropileno PN 10 y su instalación es de dos maneras:

Polipropileno PPR-100 con unión por medio de termofusión con accesorios de polipropileno.

Polipropileno PP-B copolímero de alto impacto autorroscante con accesorios de Acetal hasta DN 32mm.

Las tuberías de agua caliente son de Polipropileno y su instalación es de dos maneras:

Polipropileno PPR-100 PN 16 con unión por medio de termofusión con accesorios de polipropileno.

Polipropileno PP-B copolímero PN 10 de alto impacto autorroscantes con accesorios de Acetal hasta DN32mm.

El medidor se ubica en la entrada principal de la vivienda; se tiene una llave de paso general en la zona de tienda.

Para evitar problemas estructurales con la platea, el recorrido de la tubería principal de agua se trazó por el borde de la vivienda y deriva un ramal para alimentar cada ambiente que lo requiera.

Para la alimentación de los aparatos del segundo y tercer nivel, se instaló alimentadores que se ubican en los ductos para evitar problemas humedad en las placas de concreto.

La red interior de agua fría, está conformada por tuberías de DN 32mm, DN 25mm y DN 20mm que entregan a los aparatos sanitarios y llaves de paso que controlan cada servicio.

El sistema de abastecimiento de agua caliente proviene desde el calentador solar hacia los aparatos sanitarios que requieran de agua caliente (duchas y lavatorios).

Para el abastecimiento se tiene un sistema directo sin retorno de flujo. Las tuberías de agua caliente salen del calentador hacia los aparatos sanitarios teniendo en cuenta la máxima demanda simultánea de agua caliente y están forradas con lana de fibra de vidrio o similar y protegidas convenientemente con tocuayo en todo su recorrido.

El calentador solar de cada vivienda es de 200 litros. El cálculo de la capacidad del calentador está determinado en base a los gastos por aparatos sanitarios de acuerdo al ítem 3.4 de la Norma IS 010 del RNE.

El principio de funcionamiento de los calentadores solares, es por medio de la tecnología de tubos al vacío; los calentadores están conformados por un tanque asistente con una válvula flotadora que controla el ingreso de agua al tanque de almacenamiento y tubos paralelos conectados al tanque, cada tubo posee un tubo exterior e interior y están cubiertos con una capa especial que absorbe la energía solar e inhibe la pérdida de calor. El aire entre ambos tubos es extraído (generando vacío), eliminando así la pérdida de calor convectivo y conductivo, calentando el agua que fluye dentro de él. Los tubos de vidrio al vacío, de alta tecnología, absorben no solamente los rayos solares directos, sino también la radiación solar difusa (en día nublado). Cuando el agua fría ingresa al tanque de almacenamiento, fluye hacia la parte inferior de los tubos al vacío. Conforme el agua en el tanque se va calentando, se hace más ligera y sube naturalmente al tanque. Después, el agua continúa circulando, manteniéndola caliente en el tanque de almacenamiento.

Las tuberías que llegan y salen del calentador solar y estén expuestas se les colocarán además del recubrimiento de lana de fibra de vidrio una protección mecánica de PVC.

- **Sistema de desagüe y ventilación**

El sistema de desagüe es por gravedad, se lleva a cabo mediante tuberías de PVC ISO 4435 cuyos diámetros varían entre 2" a 4", y se conectan entre sí para evacuar las aguas residuales por las montantes instaladas convenientemente en los ductos, siendo recolectadas en el primer piso hacia las cajas de registro proyectadas ubicadas dentro de la zona de retiro del plataformado para la vivienda.

La ubicación de la última caja de registro esta próximo al borde externo de la vivienda, de tal manera que no resulte necesario profundizar ésta última caja de registro a más de 0.80 m y exista una pendiente adecuada en la conexión domiciliaria hacia el colector de la vía pública, sin necesidad de profundizar los buzones en el correspondiente tramo de dicho colector.

La vivienda cuenta con conexión domiciliaria de desagüe de DN 160mm a la red pública.

Debido a condiciones estructurales se tienen inodoros de descarga horizontal para lo cual se construyó un poyo de concreto para proteger la tubería en todo su recorrido horizontal.

El sistema de ventilación se solucionó usando tuberías instaladas por ductos de la vivienda, de tal forma que se obtenga una máxima eficiencia en todos los puntos que tenían que ser ventilados, a fin de evitar la ruptura de sellos de agua, el alzas de presión y la presencia de malos olores.

Se resalta que las aguas residuales son únicamente del tipo doméstico y de existir algún uso fuera del contemplado en la arquitectura, las aguas residuales no deberán exceder los valores máximos admisibles (VMA) de descargas de aguas no domésticas en el sistema de alcantarillado según Decreto Supremo N°021-2009-Vivienda.

- **Sistema de drenaje pluvial**

De acuerdo con la distribución de los techos de la vivienda, se diseñaron las sistema de recolección del agua de lluvia, mediante canaletas de DN Ø6" ubicadas perimetralmente en los techos. A partir de esta canaletas se dirige el agua de lluvia hacia las montantes de DN Ø4" de PVC SAP con protección UV ubicadas de acuerdo con la orientación de los techos de la vivienda.

Las montantes de drenaje pluvial, en su parte final, descargan sobre el plataformado localizado para su infiltración o escorrentía superficial, siempre que el plataformado tenga una pendiente favorable para el escurrimiento del agua de lluvia, caso contrario se habilitarán canales rellenos con material granular mediante los cuales, se pueda drenar el agua de lluvia hacia las canaletas perimetrales habilitadas para cada vivienda.

Las canaletas perimetrales de la vivienda tienen la finalidad de proteger a la vivienda de la escorrentía superficial generada a partir de áreas adyacentes, éstas a su vez, conducen las aguas de lluvia hasta alcanzar la parte baja del lote, para su evacuación final hacia el sistema de drenaje de vías.

## **CAPITULO III: PROCESO CONSTRUCTIVO**

Este capítulo describe el proceso constructivo del casco estructural de la vivienda tipo 1R, cuyas características se detallaron en el capítulo anterior. Asimismo se identifican los problemas y rescatan las buenas prácticas, que se dieron durante la ejecución del proceso constructivo.

Previo al inicio del proceso constructivo de las viviendas, se realizaron trabajos de construcción correspondientes a la habilitación urbana y el movimiento de tierras. Estos trabajos previos entregaron lotes plataformados y nivelados para la construcción del casco estructural de las viviendas.

El casco estructural está conformado por la platea de cimentación, los dobles muros de concreto armado de ductilidad limitada con aislamiento térmico de poliestireno expandido, los muros simples de concreto armado, las losas macizas de concreto armado y un techo de estructura metálica del último nivel, sin acabado alguno.

El sistema estructural de muros de ductilidad limitada (MDL) fue elegido por las siguientes ventajas: un rápido proceso constructivo, la industrialización de sus materiales y un ahorro en los costos, sin embargo, el proceso constructivo presentó principalmente problemas en colocación y acabado del concreto, los cuales serán descritos al final de este capítulo.

### **3.1 SECUENCIA DE ACTIVIDADES**

Las actividades que se desarrollan para la construcción de casco estructural, siguen el orden de un proceso constructivo convencional, con algunas variaciones que se implementaron debido a las exigencias climatológicas de la zona donde se desarrolló el proyecto ciudad Nueva Fuerabamba.

Se lista a continuación todas las actividades a desarrollar para la construcción de casco estructural, incluyendo la colocación de la estructura metálica del techo.

- Actividad 1 – Trazo perimétrico de la platea de cimentación.
- Actividad 2 – Excavación localizada para el solado de la platea de cimentación.
- Actividad 3 – Compactación del terreno para el solado de la platea de cimentación.
- Actividad 4 – Trazo de muros exteriores e interiores del primer piso.
- Actividad 5 – Vaciado de concreto para el solado de la platea de cimentación.
- Actividad 6 – Excavación localizada para las vigas de cimentación y redes de desagüe.
- Actividad 7 – Instalación de tuberías colectoras de desagüe.
- Actividad 8 – Encofrado de madera de la platea de cimentación.
- Actividad 9 – Armado de la carpa para protección de la platea de cimentación.
- Actividad 10 – Colocación de acero de refuerzo en las vigas de la platea de cimentación.
- Actividad 11 – Colocación de acero de refuerzo en la platea de cimentación.
- Actividad 12 – Colocación de las instalaciones sanitarias en la platea de cimentación.
- Actividad 13 – Colocación de las instalaciones eléctricas en la platea de cimentación.
- Actividad 14 – Vaciado de concreto en la platea de cimentación.
- Actividad 15 – Acabado pulido en la platea de cimentación.
- Actividad 16 – Desarmado de la carpa de protección para la platea de cimentación.
- Actividad 17 – Curado de la platea de cimentación.
- Actividad 18 – Desencofrado de la platea de cimentación.
- Actividad 19 – Trazo y replanteo de los muros del primer piso.
- Actividad 20 – Colocación de acero en los muros del primer piso.
- Actividad 21 – Colocación de poliestireno expandido en los muros del primer piso.
- Actividad 22 – Colocación de instalaciones sanitarias en los muros del primer piso.

- Actividad 23 – Colocación de instalaciones eléctricas en los muros del primer piso.
- Actividad 24 – Encofrado metálico de los muros y la losa del primer piso.
- Actividad 25 – Colocación de acero de refuerzo en la losa del primer piso.
- Actividad 26 – Armado de la carpa para protección de los muros y la losa del primer piso.
- Actividad 27 – Colocación de las instalaciones sanitarias en la losa del primer piso.
- Actividad 28 – Colocación de las instalaciones eléctricas en la losa del primer piso.
- Actividad 29 – Vaciado de concreto en los muros y la losa del primer piso.
- Actividad 30 – Acabado pulido en la losa del primer piso.
- Actividad 31 – Curado de la losa del primer piso.
- Actividad 32 – Desarmado de la carpa para protección de los muros y losa del primer piso.
- Actividad 33 – Desencofrado de los muros y la losa del primer piso.
- Actividad 34 – Curado de los muros y la losa del primer piso.
- Actividad 35 – Colocación de pasarelas, guarda cuerpos y rampa de acceso al segundo piso.
- Actividad 36 – Trazo y replanteo de los muros del segundo piso.
- Actividad 37 – Colocación de acero en los muros del segundo piso.
- Actividad 38 – Colocación de poliestireno expandido en los muros del segundo piso.
- Actividad 39 – Colocación de pernos de anclaje para la estructura metálica del techo.
- Actividad 40 – Colocación de instalaciones sanitarias en los muros del segundo piso.
- Actividad 41 – Colocación de instalaciones eléctricas en los muros del segundo piso.
- Actividad 42 – Encofrado metálico de los muros del segundo piso.
- Actividad 43 – Armado de la carpa para protección de los muros del

- segundo piso.
- Actividad 44 – Vaciado de concreto en los muros del segundo piso.
  - Actividad 45 – Desarmado de la carpa para protección de los muros del segundo piso.
  - Actividad 46 – Desencofrado de los muros del segundo piso.
  - Actividad 47 – Curado de los muros del segundo piso.
  - Actividad 48 – Asentado de bloques de concreto en el parapeto de la terraza del segundo piso.
  - Actividad 49 – Retiro de pasarelas, guarda cuerpos y rampa de acceso al segundo piso.
  - Actividad 50 – Trazo y replanteo de la escalera.
  - Actividad 51 – Colocación de anclajes para acero de refuerzo en la escalera del primer piso.
  - Actividad 52 – Encofrado de la escalera del primer piso.
  - Actividad 53 – Colocación de acero de refuerzo en la escalera del primer piso.
  - Actividad 54 – Vaciado de concreto en la escalera del primer piso.
  - Actividad 55 – Desencofrado de la escalera del primer piso.
  - Actividad 56 – Montaje de la estructura metálica del techo.

Estas 56 actividades generan un tren de actividades, denominado tren de casco estructural, que tiene una duración de 24 días. Vale decir que el vigésimo cuarto día se tiene una vivienda tipo 1R en casco estructural lista, de ahí en adelante cada día se produce una vivienda más de manera consecutiva.

### 3.2 MICROCLIMA PARA FRAGUADO DE CONCRETO

El clima frío y las precipitaciones (lluvia, granizo y nieve) pueden causar problemas durante el vaciado, tiempo de fraguado y curado del concreto, teniendo un efecto adverso en las propiedades físicas y principalmente en la resistencia del concreto.

Para proteger al concreto del clima frío durante el fraguado del concreto, se implementa el uso de carpas impermeables. También conocidas como

plastilonas colocadas sobre postes de madera y tubos de acero, estos son arriostrados contra el encofrado (ver figura 3.1). Las carpas impermeables usadas en conjunto con los calentadores de aire directo permiten generar un microclima al interior de las carpas. Estas carpas son lo suficientemente grandes que permitían cubrir toda la vivienda tipo 1R, desde el suelo hasta el último nivel.

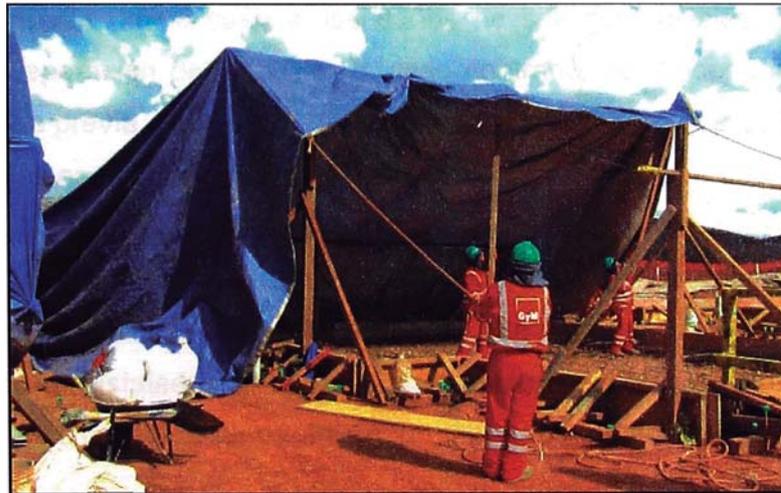


Figura 3.1 – Armado de carpas con plastilona.



Figura 3.2 – Carpa de protección instalada en una vivienda tipo 1R.

Todo esto con la finalidad de cumplir con las condiciones ambientales dispuestas en la norma ACI 306R – Cold Weather Concreting. Ahí se indica que es necesario contar con algún sistema de aislamiento para proteger al concreto del frío y de las lluvias, formando así un microclima en el interior de la carpa.

Las carpas impermeables son parte fundamental del proceso constructivo de las viviendas y cumplen dos funciones importantes. Primero permite proteger al concreto de las fuertes lluvias características de la zona del proyecto, que dañan al concreto excediéndolo de agua en su superficie, por ende variando la relación agua – cemento. Esto afecta al acabado de la superficie del concreto porque no permite realizar los trabajos de nivelación, pulido y reduce la resistencia final del concreto. 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 es asumido por la empresa contratista.

Como segunda función protege al concreto de los climas fríos, cuando se usa en conjunto con los calentadores de aire directo o “dragones”. Los calentadores de aire directo son instalados al interior de la carpa, calientan el aire y permiten generar un microclima que garantiza un fraguado óptimo de los elementos vaciados.

Con el uso de carpas y el número de calentadores adecuados se asegura cumplir con dos requisitos de temperatura importantes para el concreto.

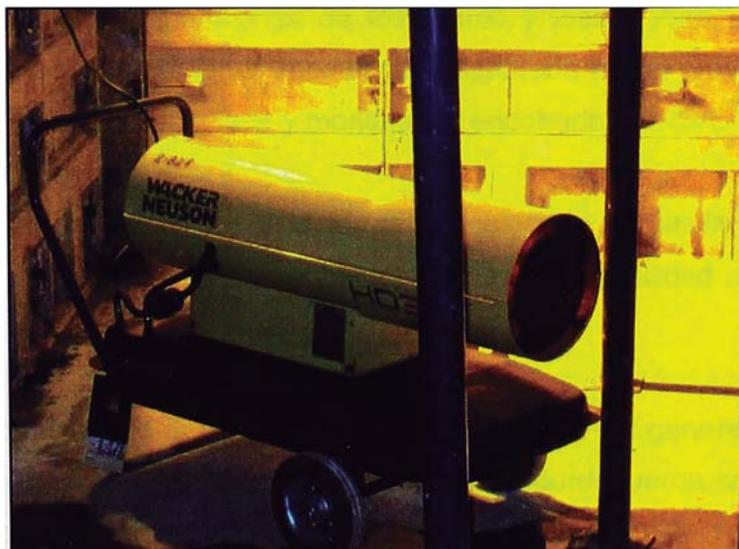
En primer requisito es mantener la temperatura del concreto superior a 5°C, que es la temperatura mínima para iniciar la colocación del concreto y que debe ser sostenida durante su proceso de fraguado y curado. Una temperatura ambiental baja (menor a 5°C) disminuye e interrumpe el proceso de reacción química entre las partículas del cemento y del agua, el concreto retarda su tiempo de fragua inicial y de fragua final. Si la temperatura es menor a -5°C, el proceso de fraguado no se completa y el concreto no desarrolla la resistencia especificada.

En segundo requisito es evitar que el gradiente de temperatura entre el interior del concreto y la temperatura ambiente, sea mayor a 14°C, límite permitido en el proyecto. Debido al proceso de hidratación del cemento, se produce una reacción química exotérmica, conocida como calor de hidratación.

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. Para ver el momento en que estos calentadores deben iniciar a funcionar se lleva un continuo control de la temperatura.

El calentador de aire seco usado es el modelo *HD 38* de la marca Wacker Neuson (ver figura 3.3) 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 ventilación y que el personal a cargo de su operación use 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 3.3 – Calentador de aire directo Wacker Neuson HD 38.**

### 3.3 ENCOFRADO METÁLICO – FORMALETAS DE ALUMINIO S.A. “FORSA”

El sistema estructural de muros de ductilidad limitada con aislamiento térmico de poliestireno expandido, utiliza un sistema de encofrado metálico modular y monolítico. Es modular porque el encofrado se fabricó en base a la medida de los planos de encofrado de cada tipo de vivienda y es monolítico porque permite el vaciado de concreto de los muros verticales y losas horizontales de manera simultánea.

En el proyecto se utiliza el sistema de encofrado metálico modular de la empresa Formaletas de Aluminio S.A. (FORSA), que consiste en formaletas fabricadas en base a láminas de aleación de aluminio de la serie aluminio - magnesio, de espesor 1/8". Solamente para el encofrado de la platea de cimentación se utilizó encofrado de madera convencional.

El metrado total de encofrado para todo el proyecto es de 390,304.42 m<sup>2</sup>, de los cuales 386,519.72 m<sup>2</sup> (99% del encofrado total) es encofrado metálico – FORSA y 3,784.7 m<sup>2</sup> (1% del encofrado total) es encofrado de madera convencional.

El encofrado ha sido modulado en base a los planos de estructuras de las viviendas, esto significa que los elementos que lo componen se adecuan perfectamente a las dimensiones de los muros y losas. Para lograr esto es necesario respetar en campo la modulación elaborada por el proveedor, que se indica en los planos de despiece y montaje del encofrado FORSA.

La modulación del encofrado y la forma de colocarlo es similar en todas las viviendas, lo cual permite a los trabajadores una mayor facilidad al momento de leer los planos.

Sin embargo, para que la utilización de este encofrado no genere problemas al momento de la colocación del concreto, los trabajadores fueron capacitados por la empresa proveedora de encofrado; además se cuenta con personal técnico de la empresa FORSA presente en el proyecto con el fin de supervisar la utilización del sistema de encofrado y absolver posibles dudas.

Para el proyecto se disponía de 18 juegos de encofrados con los cuales se pueden encofrar cualquiera de los siete tipos de viviendas. Esto representa una ventaja para la empresa y los trabajadores, quienes van adquiriendo experiencia en la colocación de este encofrado y reduciendo los tiempos de ejecución y logrando una mayor eficiencia. Este proceso se realiza con una cuadrilla de 14 a 16 trabajadores.

Cabe recalcar que para todos los trabajos son muy importantes los temas de seguridad con el fin de evitar incidentes y controlar los riesgos que se representan. 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 del encofrado; 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 manipulado 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 pasarelas, guarda cuerpos andamios y rampas de acceso para que los trabajadores puedan transportar materiales de manera libre y segura.

La colocación de los paneles del encofrado en 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, porque los obreros están acostumbrados a trabajar de esta manera por facilidad. La presencia de ayudantes es nula porque las actividades de encofrado requieren de habilidad y experiencia del trabajador para avanzar a la velocidad y con la precisión deseada.

Se aplica desmoldante biodegradable sobre el encofrado para garantizar uniformidad en la superficie del concreto y evitar que el concreto se adhiera al encofrado. A la calidad del desmoldante se le suma la experiencia del trabajador encargado de aplicarlo, el cual debe ser capacitado para dicha tarea.

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 para recibir el desmoldante.

### 3.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

A continuación se describen las 56 actividades que conforman el proceso constructivo, detallando las actividades relacionadas con la colocación de acero de refuerzo, encofrado metálico y colocación de concreto; porque tienen mayor incidencia en costo y plazo.

Adicionalmente a estas actividades, se detalla la colocación de poliestireno expandido en los muros, porque este material representa la particularidad constructiva de estas viviendas en el proyecto.

El detalle del proceso constructivo de las actividades nombradas se basa en las operaciones realizadas en campo, en las buenas prácticas de la empresa constructora y en los procedimientos escritos de trabajo seguro.

- **Actividad 1 – Trazo perimétrico de la platea de cimentación.**

Esta actividad se realiza inmediatamente después de la recepción del plataformado del lote.

Consiste en trazar con yeso industrial el perímetro del área construida del primer nivel de la vivienda. Esta actividad la realiza la cuadrilla de topografía, utilizando una estación total.

Se inicia con el trazo de dos ejes perpendiculares que coinciden con un vértice del lote, referenciados en coordenadas absolutas y se verifican con puntos base que pertenecen a una poligonal de precisión que atraviesa la ciudad. Seguidamente se traza el perímetro mediante líneas paralelas a los ejes trazados.

- **Actividad 2 – Excavación localizada para el solado de la platea de cimentación.**

Consiste en excavar manualmente o con equipo, toda el área de la platea en una profundidad de 5 cm, para que posteriormente reciba al solado de la platea de cimentación. Esta actividad se realizó manualmente usando barreta, pico, lampa, martillos demoledores eléctricos y/o con un mini cargador con lampón.

- **Actividad 3 – Compactación del terreno para el solado de la platea de cimentación.**

Consiste en compactar toda el área de la platea de cimentación utilizando un rodillo vibratorio tipo tándem de 3 tn. Seguidamente se coloca láminas de plástico reciclado sobre la superficie compactada, esto como una medida de protección ambiental. Para evitar que los líquidos del concreto en estado fresco se infiltren en el suelo y conservar la relación agua – cemento (a/c), de diseño.

- **Actividad 4 – Trazo de muros exteriores e interiores del primer piso.**

Sobre el plástico colocado en la actividad precedente, se traza con ocre y utilizando un tiralíneas los muros interiores y exteriores, el topógrafo usa una estación total topográfica para garantizar la precisión. La metodología para el trazado es similar al de la actividad 1 - Trazo perimétrico de la platea de cimentación.

- **Actividad 5 – Vaciado de concreto para el solado de la platea de cimentación.**

Para vaciar concreto para el solado de la platea de cimentación se utilizó concreto premezclado suministrado por un proveedor, quien instaló una planta de concreto dentro del área de ejecución del proyecto.

El tipo de concreto premezclado utilizado fue concreto de resistencia a la compresión  $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$ , cemento tipo I, asentamiento (slump) de 2 1/2" a 4", agregado grueso de tamaño máximo 3/4" y 5% de aire incorporado.

El proceso inicia descargando el concreto directamente del camión concretero (mixer), seguidamente se extiende el concreto con lampa y rastrillos hasta cubrir toda la superficie del solado.

Conforme se va esparciendo el concreto, se empieza a nivelar la superficie usando una regla de aluminio y teniendo como referencia las estacas de fierro de  $\varnothing 3/8"$  que se dejaron como puntos de control para la nivelación.

Se debe de verificar los niveles con ayuda del topógrafo, por lo que su presencia es permanente. Terminado este trabajo los albañiles van dando el acabado final y retiran las estacas de referencia. El espesor del solado es de 5 cm y no tiene acero de refuerzo.

- **Actividad 6 – Excavación localizada para las vigas de cimentación y redes de desagüe.**

Consiste en excavar manualmente, toda el área de vigas de cimentación de la platea de cimentación a una profundidad de 0.60 m o 0.40 m, dependiendo del tipo de terreno donde se asiente la platea de cimentación siendo este terreno de relleno controlado o roca respectivamente. También se excava el recorrido de los colectores horizontales de las redes de desagüe.

Esta actividad se realizó manualmente usando barreta, pico, lampa, martillos demoledores eléctricos, el acarreo de material excedente de la excavación lo realiza un mini cargador con lampón.

Terminada la excavación localizada, se cubre la superficie excavada con plástico reciclado, con la finalidad de evitar la contaminación de suelo.

Una buena práctica que se implementó fue dejar listones de tecnopor forrados con láminas de plástico sobre cada trazo de muros y en el recorrido de las tuberías de desagüe, previos al vaciado de concreto del solado, con la finalidad de evitar demoliciones de solado en las zonas de excavación localizada.

Un problema que se presentó en esta actividad fue la acumulación de agua de lluvias en las excavaciones. Para lo cual se colocaron mantas impermeables y termo fusionadas de 50 x 50 m, cubriendo toda la superficie excavada.

- **Actividad 7 – Instalación de tuberías colectoras de desagüe.**

Consiste en la instalación de tuberías de PVC con diámetro de 2" y 4" dentro de las excavaciones localizadas y sobre una cama de arena limpia compactada. Dejando salidas verticales para la conexión posterior de las redes interiores.

Las tuberías colectoras son horizontales y evacuan el desagüe proveniente de las redes interiores hasta las cajas de registro, ubicadas en la parte exterior de la vivienda. Para garantizar la unión de las tuberías se utiliza pegamento para PVC.

Finalmente se realiza una prueba de estanqueidad, para garantizar la calidad de la instalación y evitar las fugas de agua.

- **Actividad 8 – Encofrado de la platea de cimentación.**

El encofrado de la platea de cimentación se realiza paneles metálicos; además el encofrado es modulado con las siguientes dimensiones de 0.30 x 1.00 m a 0.30 x 4.80 m. Este encofrado se asegura con estacas de fierro, clavos y alambres. El encofrado se apoya sobre el terreno y tiene unas capas de sellador de madera para darle mayor cantidad de usos al encofrado y un mejor acabado a la superficie del concreto.

En primer lugar se verifica el trazo del contorno de la vivienda sobre el cual se coloca las formaletas de madera, luego se colocan soleras de madera de 4"x4" que se aseguran por medio de estacas de acero corrugado (fierro de 1/2") clavadas al suelo.

Para asegurar la solera de madera se tensan con las estacas utilizando alambre N° 8, logrando que la solera quede completamente rígida. A continuación se colocan los paneles del encofrado para la cimentación y se aseguran contra las soleras con listones de madera de 3"x2".

Se realiza el control topográfico de niveles y se trazan las vigas de cimentación sobre los lados del encofrado.

- **Actividad 9 – Armado de la carpa para protección de la platea de cimentación.**

Esta actividad es necesaria para evitar que el clima, las lluvias y/o las nevadas, afecten a las actividades del proceso constructivo. Se implementó el uso de carpas de protección, que son conformados por mantas de plástico impermeable termo fusionadas, postes de madera y tubos metálicos. Estas carpas se arman posteriormente al encofrado de la platea de cimentación, porque los postes que soportan las carpas se confinan con el encofrado de la platea de cimentación utilizando postes de madera de 4"x4" y listones de 3"x2" y alambre N° 8.

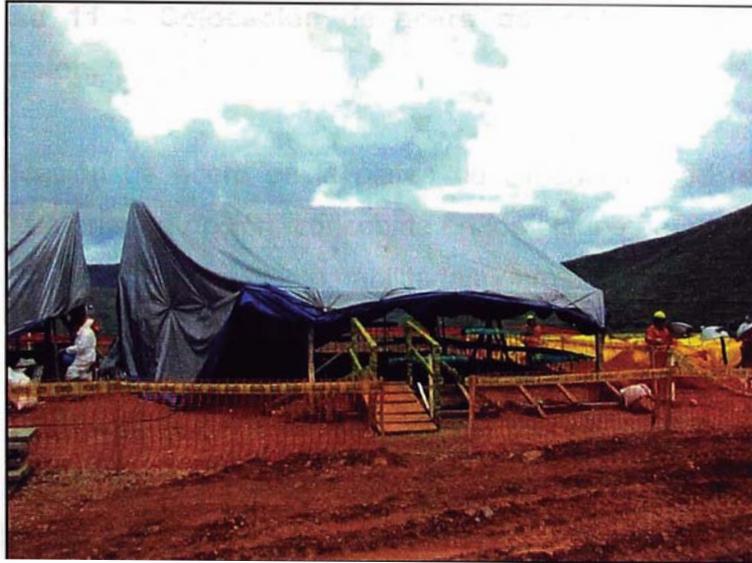


Figura 3.4 – Carpa de protección para platea de cimentación.

- **Actividad 10 – Colocación de acero de refuerzo en las vigas de la platea de cimentación.**

Las vigas de la platea de cimentación están reforzadas por 6 varillas longitudinales de  $\varnothing 1/2''$  con estribos de  $\varnothing 8\text{mm}@0.25\text{ m}$ ; las cuales son pre armadas en el banco de habilitación de acero.

Por lo tanto la colocación de éstas dentro de su ubicación final en la platea de cimentación consiste en colocar las vigas pre armadas dentro de las zanjas excavadas y sobre dados o tacos de concreto.

Los dados o tacos de concreto aseguran el recubrimiento de 4 cm especificado para este elemento, la resistencia del acero convencional es  $f'y = 4200\text{ kg/cm}^2$ .

El pre armado del refuerzo de acero en las vigas de la platea de cimentación es una buena práctica, porque optimiza los tiempo en esta actividad y permite tener un almacén de elementos pre armados en el banco de habilitación de acero y de esta manera agilizar el proceso constructivo.

- **Actividad 11 – Colocación de acero de refuerzo en la platea de cimentación.**

La colocación de acero en la platea de cimentación se realiza de dos formas: La primera opción, concebida en los planos de ingeniería, usando varillas de acero convencional habilitadas y armadas in situ en doble malla de  $\varnothing 8 \text{ mm} @ 0.20 \text{ m}$  en ambos sentidos. La segunda opción, planteada como cambio de ingeniería durante la etapa de construcción, usando mallas electro soldadas  $f'y=5,000 \text{ kg/cm}^2$ . Se describe a continuación la colocación de acero en la platea de cimentación utilizando la malla electro soldada por ser la opción más eficiente durante toda la obra. Sobre el solado se colocan tacos de concreto pobre, luego se posiciona la primera malla o malla inferior.

Esta malla inferior es dimensionada para que termine en las zonas próximas a las vigas, siendo necesario realizar empalmes con mechas de acero de  $\varnothing 8 \text{ mm}$  cada  $0.30 \text{ m}$ ; entre malla electro soldada y la viga adyacente. Las mallas restantes se empalman generando entre ellas un traslape de  $0.30 \text{ m}$ , en toda la longitud de empalme. Con la armadura inferior instalada, se colocan separadores prefabricados de concreto de  $4 \text{ cm}$  de altura.

Posteriormente, se coloca la malla superior y se atortola al separador o "burro" de acero de  $\varnothing \frac{1}{2}$ " que fue previamente asegurado en la malla inferior de esta forma se garantiza el espaciamiento entre mallas. Terminado el trabajo de mallas, se procede a ubicar los bastones de refuerzo de  $\varnothing 8 \text{ mm}$  en las zonas indicadas en planos, el acero para las escaleras dejando las mechas para su posterior construcción, las mechas verticales de arranque (de longitud  $1.10 \text{ m}$ ) para los muros de  $\varnothing 8 \text{ mm} @ 0.20 \text{ m}$ ; dejando una mecha de  $0.60 \text{ m}$  y anclados  $0.50 \text{ m}$  en las vigas de cimentación y el fierro vertical de las columnas en los casos que se requiera y según el detalle de los planos estructurales.



**Figura 3.5 – Colocación de acero en la platea de cimentación.**

Los últimos trabajos de la cuadrilla corresponden a colocar zunchos, que son varillas de acero que mantienen la alineación, verticalidad y separación entre las mechas. Finalmente se colocan geomembranas y capuchones plásticos, en los extremos del acero vertical y horizontal como medida de protección contra cortes e incrustaciones.

- **Actividad 12 – Colocación de las instalaciones sanitarias en la platea de cimentación.**

En esta actividad están agrupadas las instalaciones interiores de las redes de agua fría, agua caliente y desagüe de las viviendas. Las instalaciones sanitarias en la platea de cimentación, consisten en dejar la salida vertical para los puntos de desagüe y todas las tuberías de agua fría y caliente.

Una buena práctica implementada fue el pre armado de las baterías de redes de desagüe y agua fría, las cuales se colocan sobre las mallas de acero y se aseguran con alambre Nº 16. Finalmente se realiza la prueba de estanqueidad y la prueba hidrostática de presión.

**La prueba de estanqueidad** se realiza en las tuberías de desagüe, consiste en llenar con agua limpia las tuberías de desagüe después de tapar las salidas (de menor cota). Las tuberías se mantienen llenas con agua por 8 horas para la prueba interna en este tiempo se revisan las tuberías y accesorios y advertir alguna fuga de agua. Al siguiente día de la prueba interna se realiza la prueba final, de la siguiente forma: se toma la lectura inicial, luego de 12 horas se toma la lectura final, ambas tienen que ser iguales para garantizar que la tubería no presenta fugas. Las pruebas de estanqueidad se realizan parcialmente a medida que el trabajo va avanzando, al término de la instalación de la red de desagüe se realiza una prueba general de estanqueidad.

**La prueba presión hidrostática** se realiza en las redes de agua fría y caliente, consiste en llenar con agua limpia las tuberías de agua usando un balde de presión con válvula de cierre, para eliminar las burbujas que se forman durante el llenado de la tubería se coloca una válvula de purga y un manómetro (tipo reloj) para medir la presión en la tubería. Se presuriza en etapas con elevaciones parciales de presión hasta estabilizar la presión de prueba. Para la prueba en las montantes verticales de agua se presuriza a 180 psi y para tuberías de agua empotradas en losa y/o muro se presuriza 225 psi.

Primero se realiza una prueba interna por intervalo de 1 hora donde se para verificar la estabilización de la presión de prueba. Después se realiza la prueba final que también tiene una duración de 1 hora, la prueba inicia cerrando la válvula de cierre y desconectando el balde de presión, se toma la lectura inicial de presión en el manómetro. Durante esta parte de la prueba se protegen los circuitos de factores externos (sol, clima, vibraciones, etc.), se revisan las uniones. Finalmente se toma la lectura final de la presión en el manómetro, esta medida tiene que ser igual a la lectura inicial para dar por aprobada la prueba. Las pruebas de presión hidrostática se pueden efectuar parcialmente a medida que el trabajo vaya avanzando, debiendo realizarse al final una prueba de presión a toda la red de agua fría y caliente en general después de la instalación final.

Durante los vaciados de concreto se dejan las redes de agua presurizados (recomendable 100 psi) y las redes de desagüe llenos de agua y taponados para evitar que residuos, restos de concreto, entre otros puedan ingresar a las tuberías y produzcan atoros.

- **Actividad 13 – Colocación de las instalaciones eléctricas en la platea de cimentación.**

Las instalaciones eléctricas en la toda la vivienda se realizan con tuberías PVC-SAP, verificando que éstas se encuentren secas, limpias y libres de bordes cortantes que pudieran dañar el aislamiento de los conductores.

Cuando las tuberías se encuentran dentro de la platea de cimentación son amarradas al acero de refuerzo con alambre Nº 16. Respetando el recubrimiento del acero estructural según las especificaciones técnicas indicadas en los planos de estructuras correspondientes a cada elemento estructural.

En la platea de cimentación sólo se instalan las tuberías y las salidas verticales a la platea, no se instalan cajas de salida, ni cajas de pase.

Posteriormente éstas se instalan como parte de otra actividad. Pero se debe tener especial cuidado en la colocación de cambios de dirección en tuberías: como máximo se colocan tres cambios de dirección (curvas) en circuitos eléctricos y dos cambios de dirección (curvas) en circuitos de comunicaciones.

- **Actividad 14 – Vaciado de concreto en la platea de cimentación.**

El concreto premezclado utilizado en la platea de cimentación tiene una resistencia a la compresión  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , cemento tipo I, asentamiento (slump) de 2" a 4", agregado grueso Huso 57 y 5% de aire incorporado.

El área de vaciado se divide en cuatro zonas empezando por la más alejada de la ubicación del mixer por lo cual es necesario el uso de tubería PVC-pesada de  $\varnothing 10''$ , cortadas a la mitad en toda su longitud (media caña). También se puede realizar con una bomba telescópica de concreto, siempre y cuando las condiciones lo permitan.

La platea tiene espesor de 0.20 m e incluye vigas de cimentación de 0.40 m ó 0.60 m 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 realiza el regleado de la superficie de concreto fresco en la platea de cimentación, llevando en todo momento un control de los niveles de este elemento.

- **Actividad 15 – Acabado pulido en la platea de cimentación.**

Cuando el concreto empieza su proceso de fragua inicial, aproximadamente de 6 a 8 horas luego del vaciado de concreto, debido a las bajas temperaturas. Se realiza la actividad de acabado pulido en las plateas de cimentación, siempre con un control topográfico de niveles muy detallado principalmente durante el frotachado de la superficie.

Debe de transcurrir un tiempo adecuado para que el concreto continúe con su proceso de fraguado, hasta obtener una dureza superficial que permita realizar el planchado para dejar la superficie pulida. Esta etapa de trabajo dura aproximada de 4 a 6 horas, dependiendo de la temperatura del ambiente.

- **Actividad 16 – Desarmado de la carpa de protección para la platea de cimentación.**

Transcurridas 18 horas después del vaciado de concreto, se procede a desarmar la carpa de protección, para volverlo a utilizar en otra vivienda en construcción.

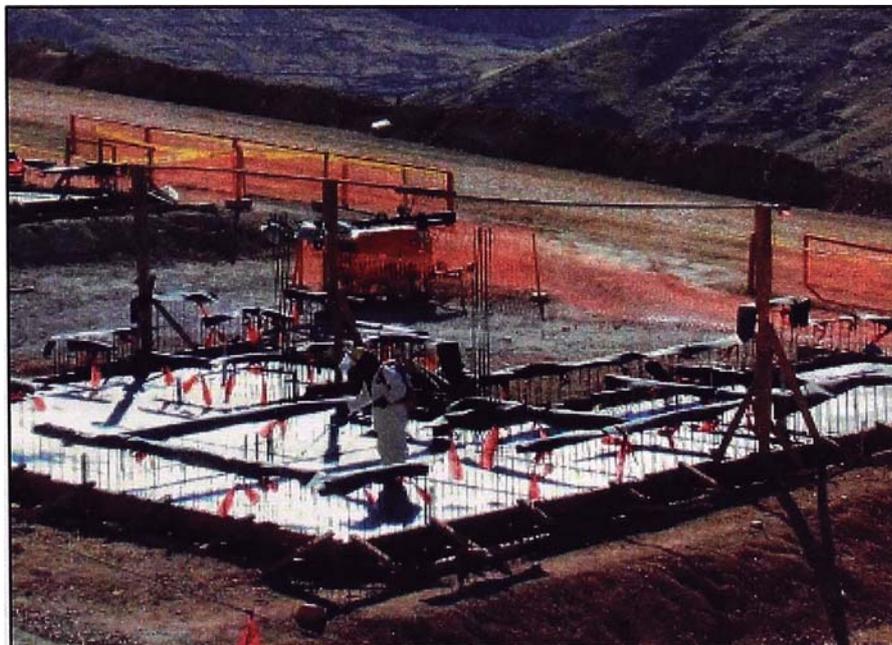
Primero se retiran las mantas simplemente jalándolas para doblarlas y se usan bastones de madera para liberarlas de algún atascamiento al momento de doblar la manta.

Seguidamente se retiran tubos metálicos utilizando un palo de madera, que en un extremo tiene una horquilla de madera, que facilita el retiro de los tubos metálicos. Finalmente se retiran los postes de madera que soportan las carpas

- **Actividad 17 – Curado de la platea de cimentación.**

Finalizado el proceso de fraguado del concreto, se aplica a la platea curador químico mediante el uso de una mochila pulverizadora (ver figura 3.6).

El curado se realiza en toda el área de la platea de forma homogénea aplicando solo una capa del curado químico.



**Figura 3.6 – Aplicación de curador químico con mochila pulverizadora en la platea de cimentación.**

- **Actividad 18 – Desencofrado de la platea de cimentación.**

Transcurridas 18 horas desde el vaciado de concreto en la platea de cimentación, se procede a desencofrar para posteriormente reutilizar el encofrado.

- **Actividad 19 – Trazo y replanteo de los muros del primer piso.**

Sobre la superficie de la platea de cimentación, se trazan los muros interiores y exteriores. Usando tira líneas con ocre y la estación total. Se inicia trazando un par de ejes perpendiculares en el centro de la platea de cimentación y seguidamente se trazan paralelas a estos ejes en la ubicación de los muros.

Se tiene que verificar la ubicación de las mechas de arranque dejadas para empalmar el acero de refuerzo de los muros y las salidas de las instalaciones eléctricas y sanitarias, también se verifica que deben estar dentro del trazo de los muros. Caso contrario se comunica para realizar la corrección respectiva a cada caso.

- **Actividad 20 – Colocación de acero en los muros del primer piso.**

En la ingeniería del proyecto se consideró originalmente el uso de varillas corrugadas de acero  $\varnothing 8$  mm, para el armado de las mallas en doble sentido de los muros. Pero durante la ejecución del proyecto, el área de diseño e ingeniería aprobó el cambio del acero de refuerzo en muros por mallas electrosoldadas. La colocación de las mallas electrosoldadas en los muros es lo que se describe a continuación.

El uso de mallas electrosoldadas representa una mejora en los rendimientos de mano de obra, ya que se prescinde del atortolado para unir las varillas en cada cruce: Igualmente, se redujo la cantidad de acero para habilitar en obra.

Antes de iniciar los trabajos de colocación de acero, se retiran los zunchos, las geomembranas y los capuchones en la zona donde se va a trabajar.

Como se dejan mechas de arranque para empalmar la platea de cimentación y los muros, es necesario como actividad previa escarificar las franjas donde se vaciarán los muros junto a la limpieza de la rebabas.

El trabajo de escarificación se realiza con martillo eléctrico para posteriormente limpiar la zona con un soplador eléctrico. Estos trabajos mejoran la adherencia entre el elemento ya fraguado, platea de cimentación, y el elemento por vaciar, muros del primer piso.

El refuerzo de acero de los muros consiste en: Refuerzo principal (doble malla electrosoldada para muros exteriores y malla electrosoldada centrada para muros interiores), refuerzo especial (varillas de acero de  $\varnothing 8\text{mm}$  y  $12\text{ mm}$  en los vértices de los vanos, esquinas, etc.) y de columnas (varillas de acero  $\varnothing 6\text{ mm}$ ,  $8\text{ mm}$  y  $12\text{ mm}$  con estribos de  $\varnothing 6\text{mm}$ ).

La actividad se inicia colocando una fila de mallas electrosoldadas en la cara exterior de un muro perimetral uniéndolas a las mechas de arranque mediante atortolado y empalmado las mallas.

Luego, se coloca una segunda fila de mallas electrosoldadas, empalmándolas de forma similar. Las mallas son dimensionadas y moduladas según la geometría del muro y a los vanos.

Las mallas electrosoldadas en los muros de los pisos intermedios se caracterizan por tener un extremo, de los cuatro que tiene, sólo acero en sentido vertical el cual funciona como mechas de arranque para empalmar las mallas electrosoldadas en los pisos superiores, es decir, no hay más cocadas en esta zona.

- **Actividad 21 – Colocación de poliestireno expandido en los muros del primer piso.**

Con la doble malla de acero colocadas en los muros perimetrales, se procede a colocar las planchas de poliestireno expandido (conocido en el mercado como tecnopor) que viene en planchas de 1.22 m x 2.44 m y 2” (0.05 m o 5 cm) de espesor, ingresándolas por un lado del muro y desplazándolas por el medio de ambas mallas, tal que forme toda una pared de este material.

En 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 cuatro puntos a lo largo de su altura mediante alambres. Seguidamente, puestas las planchas se colocan tacos de concreto en el acero vertical de la malla interior y exterior, para mantener la separación constante de 5 cm entre el tecnopor y el acero de refuerzo.

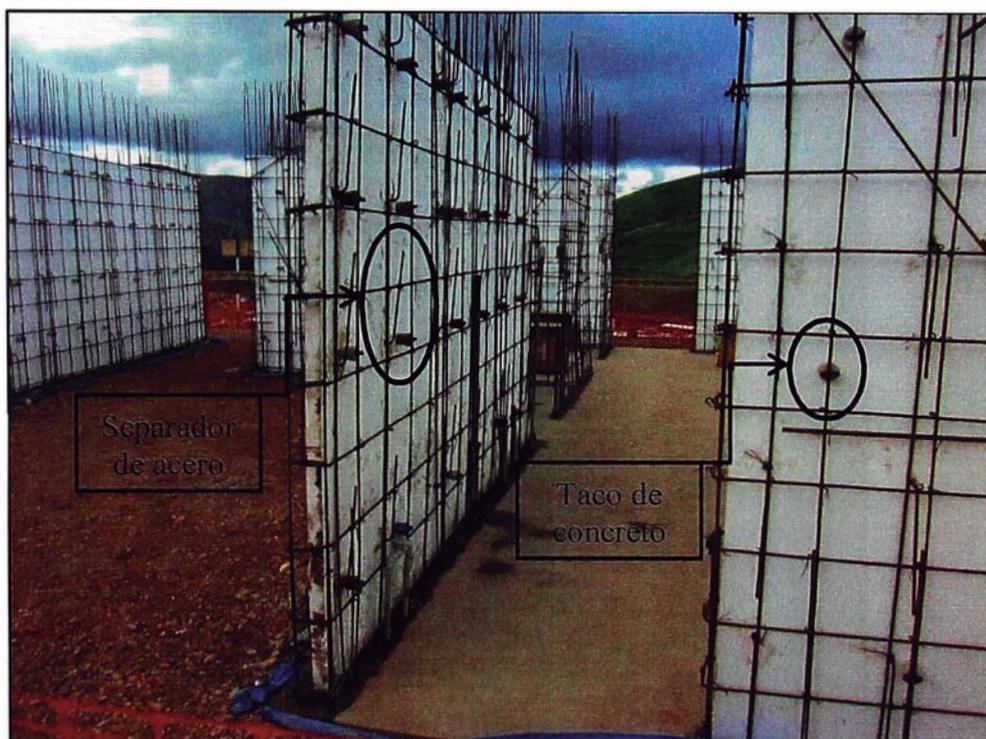
No se debe colocar los tacos en el acero horizontal de las mallas porque puede producirse el giro y desprendimiento del taco durante el vaciado del concreto, ocasionando desplazamiento de la plancha de tecnopor; generando problemas por cangrejas porque el tecnopor se junta con la superficie del encofrado. Una buena práctica fue colocar los tacos en el acero vertical y amarrarlos con alambre N° 16.

La separación de 5 cm usando tacos entre el tecnopor y la malla electrosoldada no garantiza mantener al tecnopor en su eje. Es necesario colocar separadores de acero para mantener la distancia entre la malla interior y exterior, estos separadores de acero corrugado son llamados “zetas”. Las zetas son atortoladas a la malla interior y exterior de los muros. (Ver figura 3.7 donde se observa la colocación de tacos de concreto y los separadores de acero o “zetas”).

Estos separadores de acero (zetas), atraviesan al tecnopor y debido a la escasa resistencia del poliestireno este trabajo no es complicado.

Colocando las zetas garantiza la separación de 15 cm especificada entre mallas.

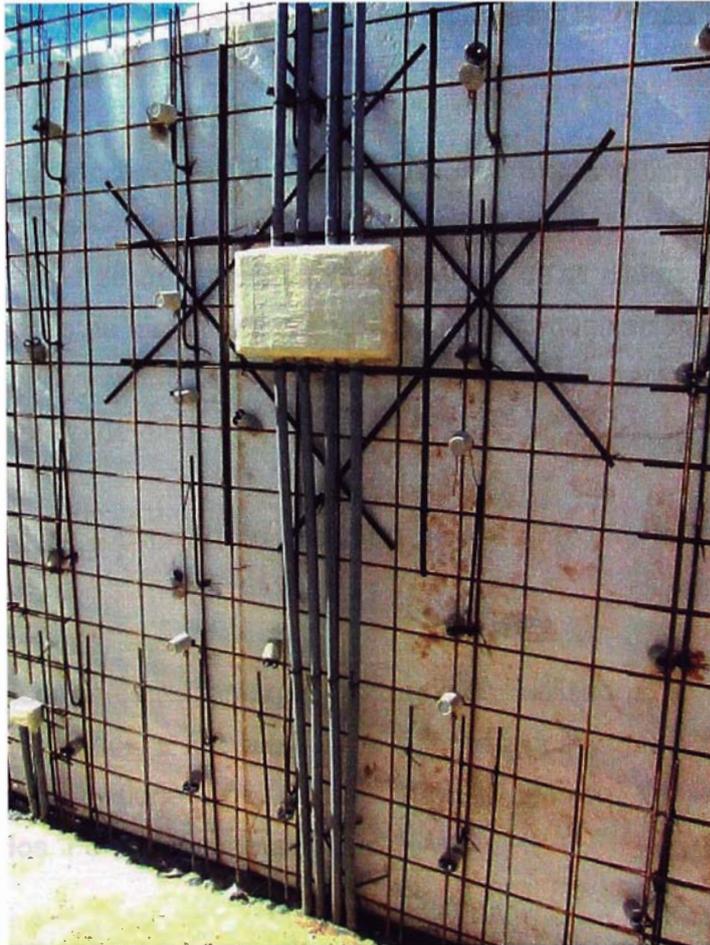
Finalmente, se colocan cada 0.60 m varillas de acero vertical de 8mm atortoladas a los separadores (zetas) y pegadas a las planchas de poliestireno expandido; estas varillas de acero se definen como acero de sostenimiento para las planchas de poliestireno expandido (tecnopor), para darle rigidez a las planchas del aislante durante el vaciado de concreto.



**Figura 3.7 – Colocación de tacos de concreto y separadores de acero.**

Con todo lo indicado anteriormente, este sistema de sostenimiento a través de tacos, separadores (zetas) y varillas de acero, otorga a la plancha de poliestireno expandido la suficiente rigidez para evitar su flexión y desplazamiento en el momento del vaciado y al mismo tiempo mantenerlo sobre su eje, garantizando los espaciamientos y recubrimientos correspondientes.

Finalmente se procede a colocar el acero de refuerzo especial de  $\varnothing 8$  mm en sus esquinas y bordes. En el caso de los vanos y cajas de distribución eléctricas, el refuerzo especial de acero consiste en varillas de acero de  $\varnothing 12$  mm colocadas diagonalmente en los vértices (ver figura 3.8), para controlar la concentración de esfuerzos en las esquinas del vano y prevenir que se generen fisuras.



**Figura 3.8 – Refuerzo especial de acero (varillas de acero de  $\varnothing 12$  mm colocadas diagonalmente en los vértices).**

- **Actividad 22 – Colocación de instalaciones sanitarias en los muros del primer piso.**

Esta actividad consiste en la colocación de las salidas de agua y desagüe en los muros, conectados a las salidas verticales que se dejaron durante el vaciado de la platea de cimentación.

También se colocan las válvulas de control del ingreso de agua fría y caliente. En esta actividad se incluye sólo la prueba de presión hidrostática, porque las redes agua son la únicas empotradas en los muros. Las redes de desagüe se ubican dentro de los ductos o en un poyo de concreto simple que se construirá en la etapa de acabados.

- **Actividad 23 – Colocación de instalaciones eléctricas en los muros del primer piso.**

Esta actividad consiste en colocar las cajas rectangulares, octogonales, cajas de pase, tablero de distribución, conectados a todas las salidas verticales que se dejaron durante el vaciado de la platea de cimentación. Estas salidas de los circuitos eléctricos y de comunicación, son rellenados con tecnopor y forrados con cinta masking tape para evitar que el concreto ingrese dentro de ellas.

- **Actividad 24 – Encofrado metálico de los muros y la losa del primer piso.**

Para entender correctamente los términos, utilizados en esta parte del informe, referidos a los elementos o accesorios propios del sistema de encofrado, se tiene que revisar Manual técnico de la empresa de encofrados "Formaletas de aluminio S.A - FORSA".

Estos términos son: formaletas, esquinero, tapamuros, tensores, losa de apuntalamiento, pasadores, corbatas, cuña, etc.

Se inicia la actividad fijando tacos de concreto en el acero vertical de la malla electrosoldada de la cara exterior del muro y sobre toda el área a encofrar con el fin de mantener la separación entre el refuerzo de acero y la cara de las formaletas de encofrado.

La colocación de los elementos del encofrado inicia por las esquinas de la edificación, sobre el trazo topográfico de replanteo se coloca por la parte exterior un ángulo exterior (ver figura 3.9) al cual se unen los paneles de encofrado a cada lado mediante pasadores cortos o con pines flecha (ver figura 3.9), usando cuñas para fijarlos. Formando 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 en polietileno espumoso, las cuales atraviesan al tecnopor y llegan al otro lado del muro.

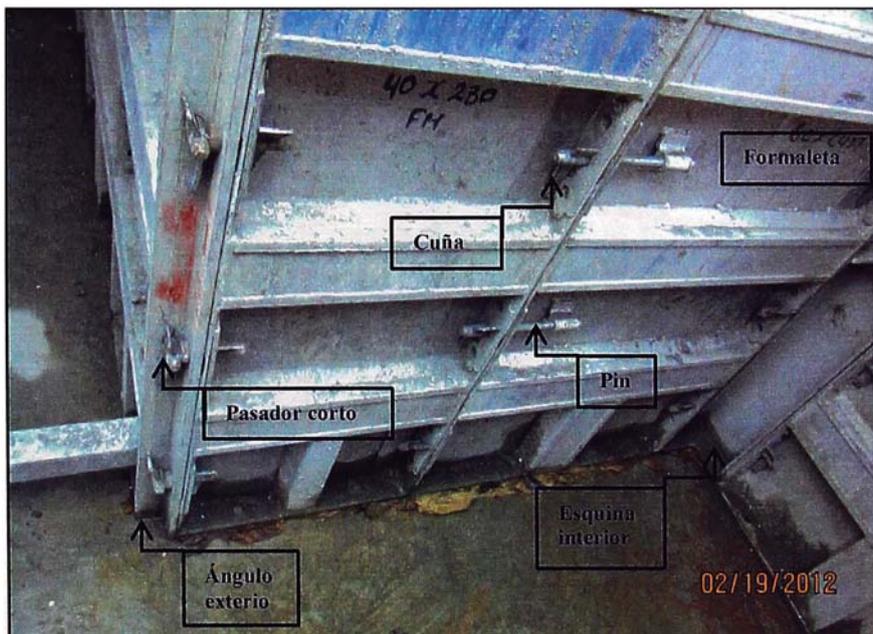


Figura 3.9 – Encofrado de esquina de muro - FORSA.

De forma simultánea en la esquina interior se fija un esquinero de muro a cada lado con formaletas de encofrado, utilizando las corbatas para unir los paneles, las corbatas y las cuñas para ajustar los pasadores.

Las corbatas tienen dos funciones: garantizar la separación de 10 ó 25 cm entre las caras de las formaletas de encofrado y soportar la presión de vaciado del concreto. Antes de ser colocadas en el encofrado, las corbatas son enfundadas en polietileno espumoso para facilitar su retiro y evitar que queden atrapadas en el concreto (ver figura 3.10).

Luego de instalar las formaletas de encofrado en las esquinas se continúa colocando formaletas de encofrado en ambos lados del muro, se recomienda encofrar tanto la cara externa e interna de los muros de manera simultánea.



**Figura 3.10 – Colocación de tecnopor y corbatas.**

Para encofrar los vanos de puertas y ventanas se colocan tapamuros y paneles especiales para los marcos, unidos mediante pasadores cortos a las formaletas de encofrado del muro. Con la finalidad de garantizar las medidas de los vanos se colocan tensores extensibles de vanos. En el caso de puertas se colocan tensores fijos en la parte inferior y superior (ver figura 3.11).



Figura 3.11 – Encofrado de vano de puerta - FORSA .

Para mejorar el alineamiento del encofrado en los muros se colocan tanto en la cara exterior e interior un ángulo alineador sobre los porta alineadores (ver figura 3.11). Para mantener la verticalidad del encofrado durante y luego del vaciado se usan puntales metálicos fijados al suelo y al encofrado (ver figura 3.12).



Figura 3.12 – Encofrado metálico FORSA – vista de ángulos alineadores.

Para trabajos de altura se requiere contar con guarda cuerpos (ver figura 3.12), pasarelas y rampas (ver figura 3.13) los cuales se fijan al encofrado de muro mediante los pasadores flecha y las cuñas.



Figura 3.13 – Encofrado metálico FORSA – vista de pasarelas y rampa.

Culminado el trabajo de muros se procede a instalar el encofrado de la losa. Para la unión del encofrado de muro y losa usan perfiles conectores llamados “cuchillas” (ver figura 3.14).

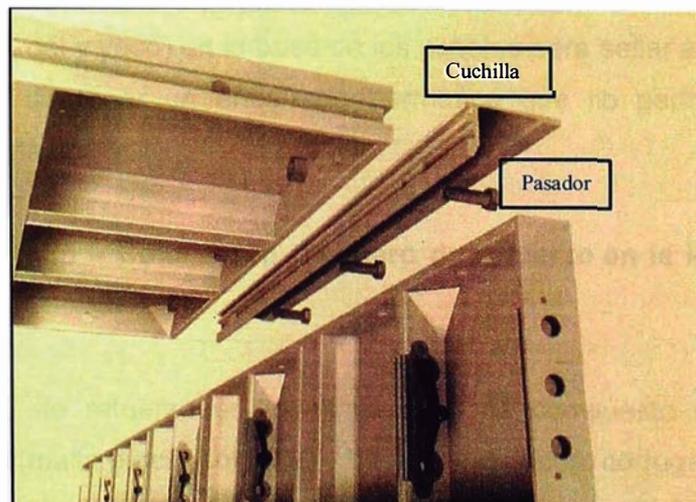
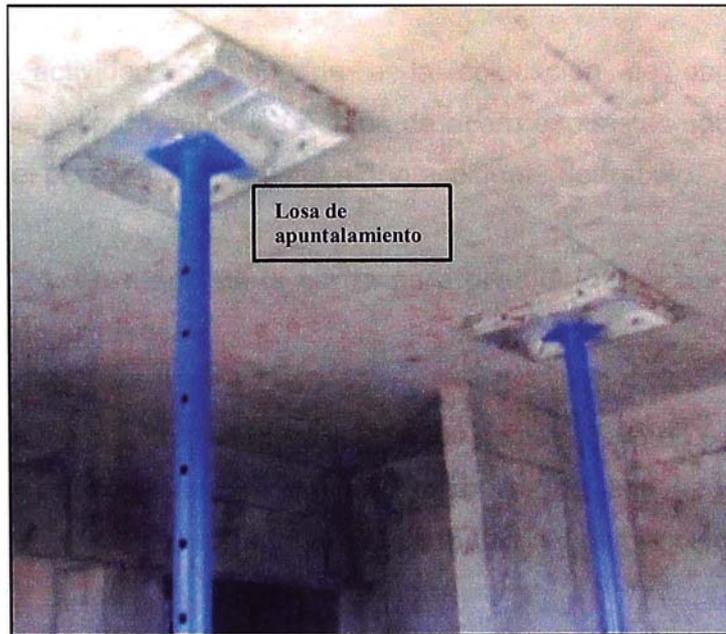


Figura 3.14 – Encofrado metálico FORSA – vista encuentro muro y losa.

Fuente – Manual de técnico - FORSA

Seguidamente se coloca el esquinero de losa y después las formaletas de encofrado de losa, asegurándolos mediante pines grapa y pasadores cortos ajustados con cuñas. Según indique el plano de modulación del encofrado de losa se instalan las losas de apuntalamiento (ver figura 3.15) con sus respectivos puntales metálicos.



**Figura 3.15 – Encofrado metálico FORSA – vista de losa de apuntalamiento.**

**Fuente – Manual de técnico – FORSA**

La última actividad del encofrado es colocar diablo fuerte (mezcla de cemento, cal y yeso) en la base de los paneles para sellar aberturas, con la finalidad de tener un encofrado hermético que no permita la fuga de lechada de concreto.

- **Actividad 25 – Colocación de acero de refuerzo en la losa del primer piso.**

El acero de refuerzo en losas macizas es compuesto por el refuerzo principal (malla electrosoldada) y bastones de acero corrugado de  $\varnothing 8$  mm. Para iniciar esta actividad se debe instalar previamente el encofrado de la losa, pasarelas, guarda cuerpos y escalera de acceso a la losa del primer piso.

Se procede a colocar tacos de concreto distribuidos en toda el área de la losa luego ubicar las mallas electrosoldadas centradas sobre los tacos. No se requiere de separadores de acero como en el caso de las plateas porque el refuerzo de acero se coloca en una sola capa, generando traslapes entre las mallas electrosoldadas o colocando bastones de acero corrugado como refuerzo, donde indiquen los planos de estructura.

La última actividad corresponde a la colocación de capuchones y geomembranas para cubrir las puntas de acero expuestas sobre la losa y evitar que el personal pueda sufrir algún accidente de trabajo.

- **Actividad 26 – Armado de la carpa para protección de los muros y la losa del primer piso.**

Al igual que en la actividad 9, se utilizan las carpas. Pero en esta actividad las carpas se aseguran contra las formaletas de encofrado y guarda cuerpos metálicos correspondientes a los muros del primer piso.

- **Actividad 27 – Colocación de las instalaciones sanitarias en la losa del primer piso.**

En esta actividad están agrupadas las instalaciones de las redes de agua fría, agua caliente y desagüe de las viviendas. Los trabajos de instalaciones sanitarias en la losa del primer piso consiste en: dejar las salidas verticales para los puntos de desagüe y colocar las tuberías de agua fría y caliente.

Una buena práctica implementada fue pre armar las redes de desagüe y agua fría, que se colocan por debajo y por encima de la malla de acero respectivamente, fijándolas a la malla de acero con alambre Nº 16. Las redes de agua caliente fueron armadas in situ teniendo las redes de agua fría y desagüe previamente fijadas con alambre Nº 16 sobre la malla de acero en su posición final. Finalmente se realiza la prueba de estanqueidad y de presión hidrostática (que fueron descritas en la actividad 12).

- **Actividad 28 – Colocación de las instalaciones eléctricas en la losa del primer piso.**

Las instalaciones eléctricas en la toda la vivienda se realizan con tuberías PVC-SAP, verificando que éstas se encuentren secas, limpias y libres de bordes cortantes que pudieran dañar el aislamiento de los conductores eléctricos. Cuando las tuberías se encuentren dentro de las losas y/o muros serán amarradas al acero de refuerzo con alambre N° 16, siempre por la parte superior en la losas y por parte interior de los muros y respetando el recubrimiento del acero estructural según las especificaciones técnicas indicadas en los planos de estructuras correspondientes a cada elemento estructural.

En las losas se instalan las tuberías y sus respectivas salidas verticales, no se instalan cajas de salida, ni de cajas de pase. Posteriormente estas serán instaladas como parte de otra actividad.

Pero se debe tener especial cuidado en los cambios de dirección de las tuberías: como máximo se colocan tres cambios de dirección (curvas) en circuitos eléctricos y dos cambios de dirección (curvas) en circuitos de comunicaciones.

- **Actividad 29 – Vaciado de concreto en los muros y la losa del techo del primer piso.**

El concreto premezclado utilizado para el vaciado de los muros y losas de las viviendas es de resistencia a la compresión  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, cemento tipo I, slump de 6" a 8", agregado grueso Huso 67 y 5% de aire incorporado.

El vaciado muro – losa es la actividad más importante del primer nivel, por las características del encofrado, el vaciado se realiza de manera monolítica entre muros y losa; por ende se emplea un solo tipo de concreto.

Toda la colocación de concreto se realiza utilizando una bomba de concreto tipo camión pluma, que es suministrado por la empresa proveedora de concreto premezclado del proyecto.

En esta etapa de construcción del casco estructural; los trabajos se realizan con mayor cuidado debido a los problemas característicos que presenta el concreto en muros de ductilidad limitada y en losas de poco espesor. Aunque los muros perimetrales son de 25 cm estos se encuentran separados por una plancha de poliestireno expandido (tecnopor) de 5 cm de espesor, lo que los convierte en dos muros de ductilidad limitada convencional de 10 cm.

Los problemas del concreto en los muros se agravan porque el poliestireno expandido (tecnopor) no tiene la rigidez para resistir los esfuerzos ocasionados por la velocidad de vaciado, la presión del concreto; por tanto tiende a flexionarse, desviarse y en algunos casos a romperse.

Para evitar esto se coloca el acero de sostenimiento tal como se mostró en la actividad 21; sin embargo, si el proceso de colocación no se realiza adecuadamente se presentarán defectos en el acabado de los muros y losas; que serán descritos en el punto 3.5 del presente informe.

Por lo expuesto, el vaciado de concreto en muros y losas se realiza por tramos de vaciado y por capas de vaciado; por ende se facilita el vibrado del concreto y se evitan los defectos de acabado del concreto en muros y losas.

Los tramos de vaciado de concreto están conformados por los muros que encierran un ambiente de la vivienda y las capas de vaciado de concreto tienen una altura aproximada de 0.60 m siendo necesarias 4 capas para llegar a los 2.30 m de altura que tienen los muros. Para controlar la altura de las capas de vaciado en los muros se habilitó un escantillón; consistente en una varilla de acero corrugado con marcas de pintura que indican la altura de vaciado de concreto.

El vaciado de concreto empieza en el punto intermedio de una de las caras del muro perimetral; se coloca concreto en la cara interior y exterior del muro perimetral de manera simultánea, movimiento en zigzag la manguera de camión pluma de concreto. Esta secuencia se realiza en todos los tramos de vaciado según el orden definido en obra, hasta completar la primera capa 0.60 m de altura.

Durante el vaciado de concreto se realiza la compactación con vibradoras de concreto tipo aguja de 1" de diámetro, de alta frecuencia; también se usan dos martillos de goma para golpear el encofrado y evitar la formación de vacíos y la acumulación de burbujas en la cara exterior e interior de los muros.

Culminado el vaciado de la primera capa en todos los tramos, se continúa manteniendo la misma secuencia en las tres capas de vaciado que faltan; hasta llenar a la altura total del muro.

Terminado el vaciado de concreto en los muros de todos los tramos de vaciado, se realiza el vaciado de concreto en la losa respetando el orden de vaciado de los sectores (los sectores son los mismos para los muros y las losas); también se mantiene el vibrado constante durante el vaciado de la losa.

Los tramos de vaciado (están identificados por colores); la secuencia de vaciado (está indicada con un número); los puntos de inicio para el vaciado de concreto en los muros; el sentido del vaciado para los muros (está indicado por flechas); establecidos para una vivienda tipo 1R se esquematizan en la figura 3.16.

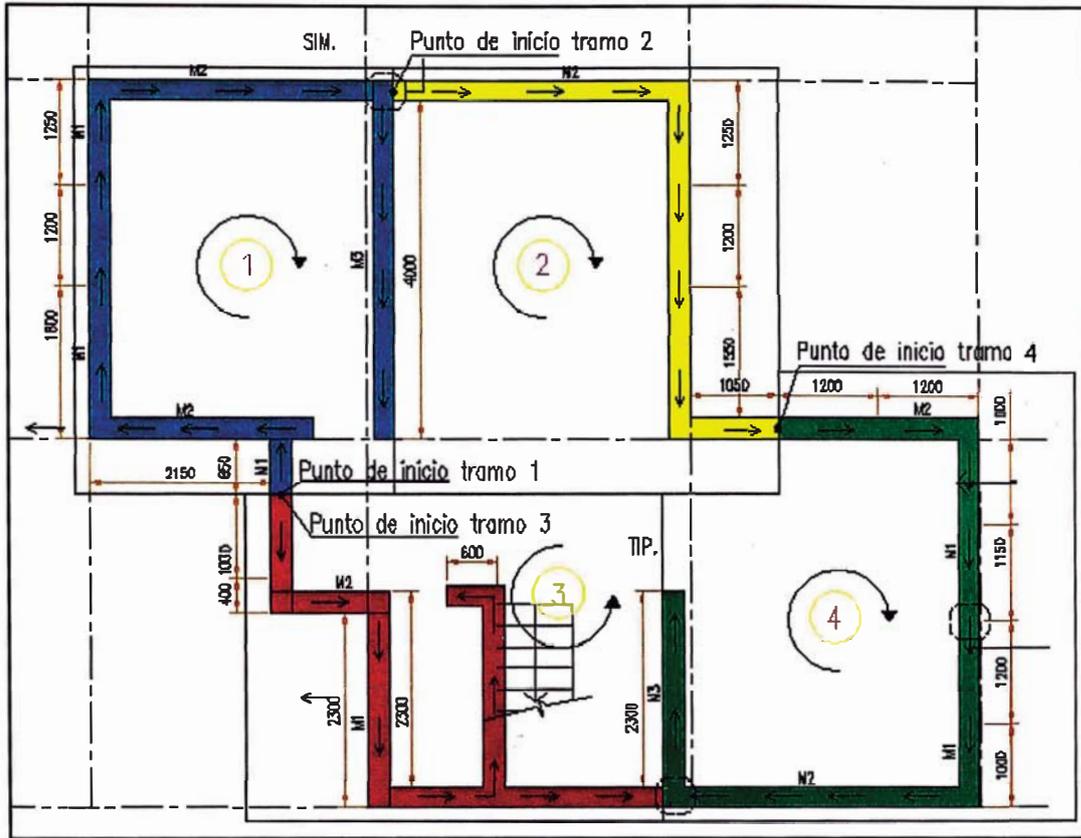


Figura 3.16 – Secuencia de vaciado de concreto en muros y losa primer piso de la vivienda tipo 1R.

Siempre el vaciado de muros tiene que empezar por un muro perimetral y terminar en un muro interior o en otro perimetral (ver figura 3.16).

Nunca se debe iniciar el vaciado de concreto por un muro interior que llegue perpendicularmente a un muro exterior, porque el concreto vaciado en el muro interior genera presión sobre la plancha de tecnopor del muro perimétrico, que produce un desplazamiento de la armadura y la plancha de tecnopor aislante, formando un grave defecto en el concreto.

Terminando el vaciado de concreto, se realiza la limpieza exterior del encofrado con una hidrolavadora la cual expulsa un chorro de agua a presión retirando los residuos de concreto.

- **Actividad 30 – Acabado pulido en la losa del primer piso.**

Cuando el concreto empieza su proceso de fragua inicial, que puede variar de 6 a 8 horas posterior al vaciado cuando las temperaturas son bajas, se realiza el proceso de terminación de las losas, realizando un control topográfico con un nivel, durante los trabajos de 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.

- **Actividad 31 – Curado de la losa del primer piso.**

Una vez concluido el acabado de la losa se procede a realizar el curado, de la misma manera que se realizó en la platea de cimentación. Aplicando una capa de curado químico, utilizando una mochila pulverizadora.

- **Actividad 32 – Desarmado de la carpa para protección de los muros y la losa del primer piso.**

Esta actividad se desarrolla al igual que en la actividad 17.

- **Actividad 33 – Desencofrado de los muros y la losa del primer piso.**

El desencofrado de muros se realiza en su totalidad después de 18 horas de colocado el concreto; pero para la losa se realiza un desencofrado parcial, dejando las losas de apuntalamiento por 72 horas.

El desencofrado de muros, se inicia retirando las cuñas, pasadores, porta alineadores, alineadores, pasarelas y/o guarda cuerpos.

Después se despega el encofrado de la cara en contacto con el concreto y se espera 15 minutos para evitar un cambio brusco de temperatura en la superficie del concreto endurecido. Finalmente se retira las formaletas del encofrado de muros lentamente y se acopian según sus dimensiones.

El desencofrado parcial de losa consiste en retirar las formaletas de encofrado de losas (18 horas después del vaciado); pero, dejando las losas de apuntalamiento del encofrado de losa por 72 horas después del vaciado de concreto.

Posterior a estos tres días se retiran las losas de apuntalamiento pero se reapuntala la losa, con tacos de madera (los tacos son pedazos de madera cuadrada de 0.30 m de lado y 2" de espesor), hasta después del vaciado del piso superior.

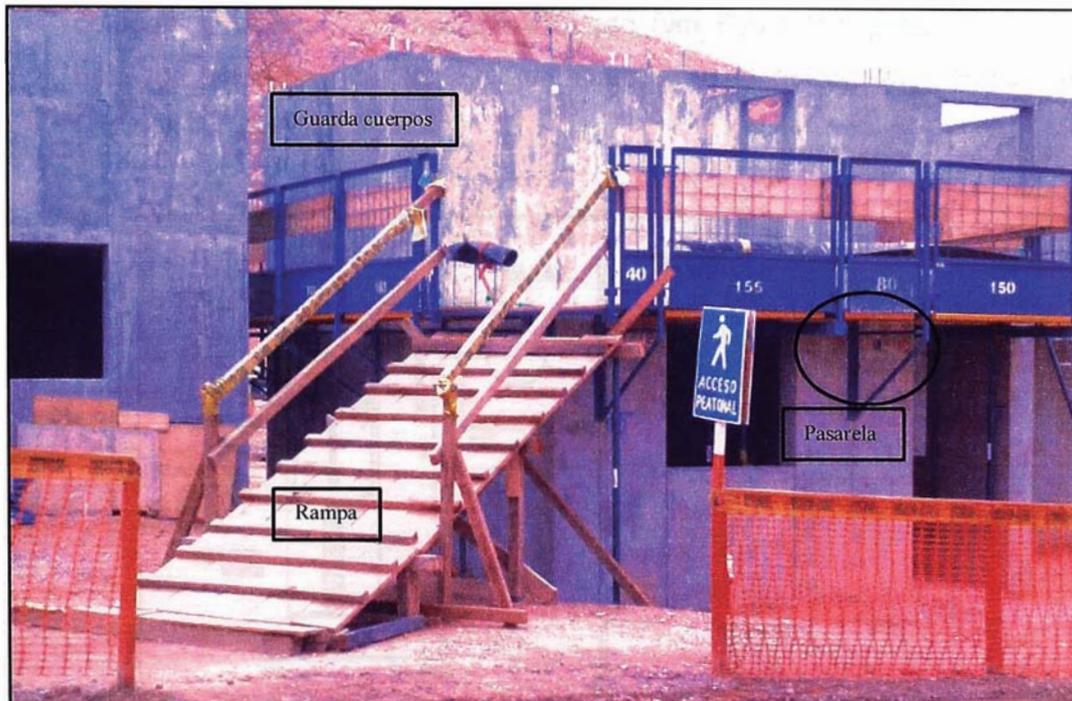
- **Actividad 34 – Curado de los muros y la losa del primer piso.**

Inmediatamente después de retirar los paneles de encofrado se realiza el curado, siguiendo la secuencia del desencofrado; esto se realiza de arriba hacia abajo de forma homogénea sobre toda el área del elemento aplicándose sólo una capa del curador químico, para la aplicación se usar un rodillo (idéntico al de pintura) y/o una mochila pulverizadora.

- **Actividad 35 – Colocación de las pasarelas, los guarda cuerpos y la rampa de acceso al segundo piso.**

Previa a la colocación de encofrado en el segundo piso, se tiene que instalar las pasarelas exteriores en todo el perímetro de la vivienda porque soportan a los ángulos ranurados, que permiten fijar las formaletas de encofrado en la fachada en el segundo piso; también, son el soporte para colocar las plataformas exteriores de circulación, que brindan una superficie segura para que los trabajadores realicen el encofrado de las fachadas de la vivienda en el segundo piso.

Después de instalar las pasarelas y plataformas, se instalan los guarda cuerpos que son barandas metálicas estandarizadas y sujetas a las pasarelas; que sirven para evitar la exposición de los trabajadores a una caída de altura (ver figura 3.17).



**Figura 3.17 – Pasarelas, plataformas, guarda cuerpos y rampa de acceso al segundo piso.**

Finalmente se coloca la rampa de acceso al segundo nivel, que consiste en unos tablonces madera inclinados y soportados sobre postes de madera tornillo, esta rampa se implementa para que los trabajadores puedan transitar por ella trasladando los distintos materiales y formaleas del encofrado, sin riesgo de caída de altura.

- **Actividad 36 – Trazo y replanteo de los muros del segundo piso.**

El desarrollo de esta actividad es similar a la descrita en la actividad 19, con la aclaración que siempre se trabaja sobre la losa maciza del techo del primer piso y sobre las pasarelas del sistema de encofrado.

- **Actividad 37 – Colocación de acero en los muros del segundo piso.**

El desarrollo de esta actividad es similar a la descrita en la actividad 20. Pero adicionalmente en este piso por ser el último de la vivienda tipo 1R, se colocan vigas de remate en la parte superior de los muros; también se colocan canastillas de acero corrugado (ver figura 3.18); que sirven de base para los pernos anclaje que soportaran la estructura metálica del techo de la vivienda.

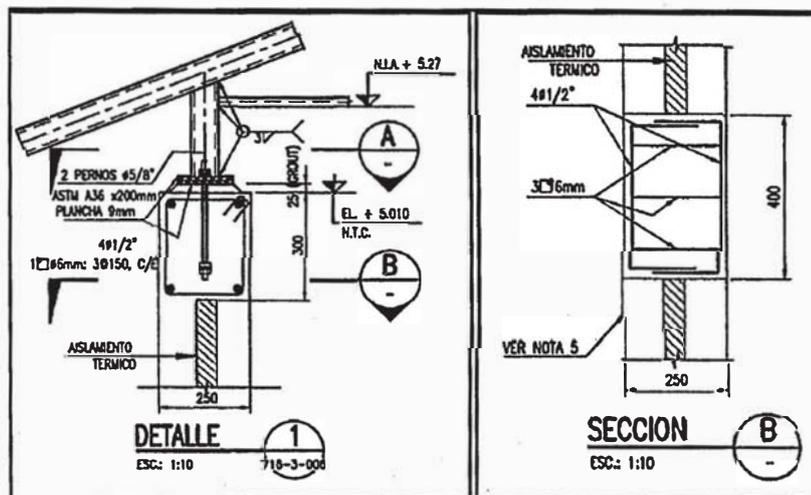


Figura 3.18 – Detalle de refuerzo para canastillas de acero corrugado.

Fuente – Plano de estructuras – 110988-716-3-005-Rev3 (ver anexo 2).

- **Actividad 38 – Colocación de poliestireno expandido en los muros del segundo piso.**

El desarrollo de esta actividad es igual a la descrita en la actividad 21; recalcando que en esta actividad siempre se trabaja sobre las pasarelas con plataformas y guarda cuerpos.

- **Actividad 39 – Colocación de pernos de anclaje para la estructura metálica del techo.**

Para instalar los pernos de anclaje y verificar su correcta ubicación, el personal subirá a la parte superior de los muros; a través de andamios metálicos y/o podios de madera (tipo escalera con barandas).

Durante el desarrollo de esta actividad se utilizara un sistema de detención de caídas compuesto por: un arnés de cuerpo entero, una línea de vida y una línea de enganche con amortiguador de impacto con dos mosquetones de doble seguro.

Existen dos formas de colocar los pernos de anclaje de la estructura metálica del techo: La primera forma es antes del vaciado de concreto, esta consiste en amarrar los pernos de anclaje a la canastilla de acero de los muros; en este caso los pernos de anclaje llevan en su parte inferior una tuerca cuya función es crear una mayor área de resistencia al arranque del perno. Esta tuerca es diseñada como un elemento monolítico con el perno; para lograr esta condición la tuerca debe ir soldada en tres puntos.

Los pernos de anclaje se instalan utilizando una plancha de triplay (de 150 x 300 x 8 mm) que sirve de guía y estará fijada sobre el encofrado de los muros.

La segunda forma es colocar los pernos en el concreto endurecido utilizando un taladro percutor con broca para perforar el muro e inyectar un anclaje químico. La profundidad de la perforación está en función al diámetro del perno de anclaje y/o las recomendaciones del proveedor. Finalmente verifica la correcta ubicación de los pernos de anclaje de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto.

- **Actividad 40 – Colocación de instalaciones sanitarias en los muros del segundo piso.**

El desarrollo de esta actividad es igual a la descrita en la actividad 22.

- **Actividad 41 – Colocación de instalaciones eléctricas en los muros del segundo piso.**

El desarrollo de esta actividad es igual a la descrita en la actividad 23.

- **Actividad 42 – Encofrado metálico de los muros del segundo piso.**

El desarrollo de esta actividad es similar a la descrita en la actividad 24, pero por tratarse del último nivel solamente se encofran los muros. El apuntalamiento del encofrado para garantizar la verticalidad del encofrado se apoya sobre la losa maciza del primer piso y sobre las pasarelas del sistema de encofrado.

- **Actividad 43 – Armado de la carpa para protección de los muros del segundo piso.**

En este caso para el armado de la carpa, al tratarse de muros de concreto sin losa, consiste en cubrir con el toldo toda la vivienda apoyándolo directamente sobre el encofrado.

- **Actividad 44 – Vaciado de concreto en los muros del segundo piso.**

El desarrollo de esta actividad es similar a la descrita en la actividad 29, haciendo referencia sólo al vaciado de concreto en los muros.

- **Actividad 45 – Desarmado de la carpa para protección de los muros del segundo piso.**

Esta actividad únicamente corresponde a retirar la carpa que se colocó en la actividad 43, que se realiza 18 horas después del vaciado de concreto en los muros; tiene un proceso similar a la actividad 17.

- **Actividad 46 – Desencofrado de los muros del segundo piso.**

El desarrollo de esta actividad es similar a lo descrito en la actividad 33, el desencofrado del 2do piso, se realiza después de 18 horas de colocado el concreto. Pero en esta actividad solamente se realiza el desencofrado de muros y por lo expuesto en conjunto al desencofrado de los muros del 2do piso se retira todo el reapuntalamiento de la losa del techo del primer piso.

- **Actividad 47 – Curado de los muros del segundo piso.**

Inmediatamente después del desencofrado de los muros se realiza el curado, siguiendo la secuencia del desencofrado. El curado se realiza de arriba hacia abajo de forma homogénea en toda el área del elemento aplicándose sólo una vez, utilizando un rodillo o mochila pulverizadora con curador químico.

- **Actividad 48 – Asentado de bloques de concreto en el parapeto de la terraza del segundo piso.**

Esta actividad consiste en el asentado de bloquetas de concreto en el parapeto en las terrazas de las viviendas. Esta actividad está conformada por tres pasos: anclaje de acero vertical de refuerzo para el parapeto, colocación de bloquetas de concreto y vaciado de concreto en los alveolos del parapeto.

Para realizar el anclaje de acero vertical de refuerzo en el parapeto: primero se traza los parapetos en la losa del primer piso para marcar la ubicación de los anclajes, según las dimensiones de las bloquetas y el tipo de vivienda; luego se perfora 5 cm en todos los puntos de anclaje marcados, usando un taladro percutor que debe tener una broca del diámetro inmediatamente superior al diámetro de la varilla de acero de refuerzo a anclar. Finalmente se limpia el polvo de la perforación usando un soplador eléctrico y finalmente se aplica un anclaje químico o pegamento epóxico, que unirá las varillas de acero con la losa de concreto.

Para realizar la colocación de las bloquetas de concreto en el parapeto: se inicia emplantillando la primera hilada de bloquetas, cuidando que los anclajes del refuerzo coincidan con los alveolos de las bloquetas de concreto; luego se asientan las “bloquetas guías” con mortero en los dos extremos o esquinas; ya ubicadas las “bloquetas guías” se coloca un cordel o tiralíneas de referencia para asentar las siguientes hiladas.

Después se coloca mortero en la hilada previa y en las caras de contacto de la bloqueta a instalar. Cada hilada está desfasada media bloqueta con respecto a la anterior, para generar un amarre entre las bloquetas del parapeto. Las juntas tienen un espesor mínimo de 10mm y máximo de 15mm. Cada tres hiladas de bloquetas se coloca una varilla de acero de  $\varnothing 8$  mm con refuerzo horizontal, en esta junta el mortero tiene 15mm de espesor como mínimo.

Finalmente se realiza el vaciado de concreto en los alveolos de las bloquetas del parapeto. Pero previo al vaciado se hacen ventanas de inspección en la primera hilada de las bloquetas que coincidan con el acero vertical para eliminar los residuos que se generen mientras se levanta el muro; se encofran las ventanas de inspección; se humedecen las bloquetas con agua, evitando que el agua quede empozada en la base del muro; para finalmente vaciar concreto dentro de los alveolos. El concreto utilizado para llenar los alveolos del parapeto tiene resistencia a la compresión  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, cemento tipo I, asentamiento (slump) 2" a 4", agregado grueso huso 57 y 5% de aire incorporado. Para compactar el concreto se introdujo una varilla de acero de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 1.5 m de longitud, dentro de los alveolos llenos de concreto y mediante un movimiento vertical de la varilla de acero de arriba hacia abajo se compacto el concreto dentro del alveolo.

- **Actividad 49 – Retiro de las pasarelas, los guarda cuerpos y la rampa de acceso al segundo piso.**

Una vez terminada la colocación de parapetos en la terraza, se retiran las pasarelas, guarda cuerpos y la rampa de acceso al segundo piso de la vivienda; porque las siguientes actividades que se realizarán son en el interior de las viviendas además al tener construidos los parapetos hace innecesario tener instaladas las pasarelas, los guarda cuerpos y la rampa. Para realizar esta actividad el personal usa de manera permanente: un arnés de cuerpo entero, una línea de vida y una línea de enganche con amortiguador de impacto con dos mosquetones de doble seguro.

- **Actividad 50 – Trazo y replanteo de la escalera.**

Esta actividad consiste en el trazo de la escalera en los muros que conforman el ducto de escaleras; para lo cual, se utiliza un nivel topográfico electrónico. Asimismo se trazan los puntos de anclaje de acero correspondientes al refuerzo de la escalera.

- **Actividad 51 – Colocación de anclajes para acero de refuerzo en la escalera del primer piso.**

La escalera es el último elemento del casco estructural en ser construido en todas las viviendas del proyecto.

Esto significa que aunque se haya vaciado todos los niveles de las viviendas, sólo se cuentan con mechas verticales de acero de refuerzo en la platea y en las losas macizas. Debido a que el sistema de encofrado no permite un vaciado monolítico entre muro – escalera – losa.

Además como las especificaciones técnicas no permiten el redoblado del acero, no pueden dejarse las mechas del descanso de la escalera dentro del encofrado de los muros. Porque esto implicaría que en el muro ya fraguado y desencofrado se tendría que picar la zona donde se ubican las mechas embebidas; para luego descubrirlas, redoblarlas y alinearlas con el acero de refuerzo de la escalera.

Para evitar esto, la solución es anclar acero de refuerzo de  $\varnothing 8$  mm (la profundidad del anclaje es de 7 cm) en los muros de 10 cm de espesor que conforman el ducto de escaleras.

Para fijar las mechas de acero al muro de concreto se usa un anclaje químico o pegamento epóxico dejando una longitud libre de 50 cm como mínimo al exterior del muro para empalmarse con la armadura de refuerzo de la losa del descanso de la escalera.

Este tipo de epóxico es una resina de baja retracción y curado lento que se caracteriza por la buena adherencia que logra entre acero y concreto.

El proceso de anclaje consiste en: escarificar el área de encuentro de la losa del descanso de la escalera con el muro; marcar los puntos de anclaje donde se insertarán las varillas; perforar el muro de concreto 7 cm con un taladro percutor con broca de  $\varnothing 3/8$ . Luego se procede a colocar el cartucho de epóxico dentro del aplicador manual, que permite llenar con pegamento epóxico cada perforación. Finalmente, se insertan las varillas de  $\varnothing 8\text{mm}$ . Luego del proceso de fragua completo se empalma estas varillas con el acero especificado para la losa del descanso de la escalera.

- **Actividad 52 – Encofrado de la escalera del primer piso.**

El encofrado de la escalera, es del mismo material y sistema del encofrado de muros. Este encofrado es fabricado a la medida de cada tipo de escalera y por tipo de vivienda; por tanto el proceso de encofrado es típico para las viviendas del mismo tipo (ver figura 3.19), la escalera tiene las siguientes medidas: 95 cm de ancho, 24 cm de profundidad en el paso y 17 cm de altura en el contrapaso



**Figura 3.19 – Encofrado de escalera.**

- **Actividad 53 – Colocación de acero de refuerzo en la escalera del primer piso.**

Sobre el encofrado de la escalera se coloca el acero de refuerzo de la escalera, empalmándose en las mechas ancladas en los muros y en las mechas dejadas en la platea y losa maciza de techo. Finalmente se colocan los tacos de concreto para garantizar el recubrimiento en todas las secciones de concreto en la escalera.

- **Actividad 54 – Vaciado de concreto en la escalera del primer piso.**

Para su vaciado es necesario que las zonas de arranque platea – escalera, o losa – escalera, y entrega escalera – losa, sean cubiertas con un puente de adherencia o resina epóxica, para mejorar la adherencia entre el concreto endurecido y el concreto fresco. Una vez puesto el puente de adherencia se dispone de 30 min para el vaciado de concreto en la escalera.

El proceso inicia vaciando el concreto del extremo superior hacia el arranque para luego realizar el posterior vibrado. El concreto premezclado utilizado es de resistencia a la compresión  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, cemento tipo I, slump de 6" a 8", agregado grueso Huso 67 y 5% de aire incorporado.

- **Actividad 55 – Desencofrado de la escalera del primer piso.**

El desencofrado de la escalera se realiza después de 18 horas de colocado el concreto, pero para evitar el shock térmico en el concreto al momento de desencofrar, primero se aflojan las formaletas y se espera 15 minutos para retirarlas.

Las losas de apuntalamiento de la escalera con sus respectivos puntales, se dejan por tres días para garantizar su estabilidad. Posterior a estos tres días, desde el vaciado de concreto en la escalera, se desencofra totalmente la escalera.

- **Actividad 56 – Montaje de la estructura metálica del techo.**

Para el montaje de la estructura metálica de los techos, primero se arma toda la estructura a nivel de terreno a un costado de la vivienda. La estructura metálica está conformada por perfiles, correas y templadores de acero, que son empernados y soldados antes del izaje de la estructura. Posteriormente con un camión grúa telescópico, se coloca la estructura armada en los pernos de anclaje instalado en los muros del último nivel de las viviendas, donde se aseguran con las tuercas.

Finalmente se coloca el mortero de alta resistencia (tipo grout cementicio) debajo de las planchas metálicas que soportan la estructura del techo.



**Figura 3.20 – Montaje de estructura metálica del techo de la vivienda tipo 1R.**

### **3.5 DEFECTOS DEL CONCRETO**

Es esta parte del informe se muestran los principales defectos relacionados al concreto de las viviendas, defectos propios del sistema estructural de muros de ductilidad limitada, defectos debido al uso del aislante térmico y defectos debido al tipo de encofrado.

En general, las condiciones climatológicas del proyecto tienen impacto en el concreto, pero se controló con el uso de los calentadores de aire directo al interior de la carpa protectora, que generan el microclima adecuado para el fraguado del concreto.

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.

A continuación se presentan los defectos más frecuentes durante la construcción de las viviendas en el proyecto ciudad Nueva Fuerabamba.

- **Cangrejas**

Las cangrejas son espacios vacíos en un elemento de concreto que eventualmente presenta exposición del acero de refuerzo. Puede implicar problemas estructurales si su tamaño es considerable en relación a la sección del elemento de concreto y al tamaño de la sección defectuosa.

Este defecto del concreto es resultado de una inadecuada distribución y fijación de los tacos de separación de concreto entre el encofrado y el acero de refuerzo y/o al desplazamiento de las planchas de aislamiento térmico de poliestireno expandido (tecnopor) que se colocan dentro de los muros perimetrales, generando una obstrucción al momento de la colocación del concreto, por ende la aparición de estos defectos en una de las caras del muro.

Otro factor es el inadecuado proceso de colocación de concreto. Esto puede ocurrir al momento de colocar el concreto en los muros con tecnopor. Se tiene que llenar alternadamente las placas en los dos lados del tecnopor para no generar mayor presión a uno de los lados. Esta diferencia de presión rompe el tecnopor o lo recuesta sobre el encofrado; generando la aparición de cangrejas en los muros de concreto.

También se genera por un deficiente vibrado en la zona donde se ubican los accesorios eléctricos y sanitarios en los muros o donde hay una gran concentración de acero de refuerzo en muros o losas.

Para mitigar esto, se utiliza una vibradora de concreto con cabezal de 1" de diámetro, porque el espacio entre el tecnopor y el acero de refuerzo es de 5 cm y al utilizar una vibradora de mayor diámetro se golpea el tecnopor dañándolo; por ende se generan este tipo de defectos en el concreto.

Finalmente, para evitar la aparición de cangrejas es determinante seguir el procedimiento de vaciado de concreto por capas y tramos, que se ha descrito en este informe. También verificar una adecuada colocación de tacos de concreto y utilizar una vibradora con cabezal de 1" de diámetro.

- **Segregaciones**

Las segregaciones son secciones de concreto en el cual ocurre la separación del agregado (piedra) de la mezcla de mortero, pueden presentar exposición del acero de refuerzo. Puede implicar problemas estructurales si se extiende considerablemente en relación a la sección del elemento de concreto.

Generalmente las segregaciones se presentan en el encuentro de los muros con las losas. Las segregaciones se generan por la filtración de lechada del concreto debido a cierres no herméticos en los encofrados o en el encuentro inferior del encofrado con la losa o platea.

Para evitar las segregaciones en el encuentro de muros con losa, se colocó una mezcla de cemento, cal y yeso (conocido como "diablo fuerte") en el encuentro del encofrado con la losa de concreto y de esta manera sellar herméticamente dicho encuentro.

- **Burbujas**

Son cavidades pequeñas formadas por el atrapamiento de aire, 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 la presencia de cavidades entre 6 a 10 mm de diámetro promedio. Y son comunes en este sistema de encofrado de aluminio porque al estar en contacto con el concreto se genera óxido de aluminio en la superficie del encofrado, formando las burbujas.

Para evitar la formación de burbujas se tiene que golpear el encofrado durante toda la colocación y vibrado de concreto con una comba de goma. También se tiene que realizar un buen curado de la formaleta y aplicar una buena capa de desmoldante antes de cada uso del encofrado.

- **Fisuras y grietas**

Son aberturas longitudinales en la superficie del concreto debido a sollicitaciones de esfuerzo tempranas, sobreesfuerzos o a cambios volumétricos característicos de este material. Se consideran como fisuras aquellas que tienen un ancho menor a 1 mm y como grietas a aquellas que tienen un ancho mayor o igual a 1mm.

Las fisuras ocurrieron principalmente en las losas macizas de las viviendas. Generalmente por un desencofrado temprano y el retiro de los puntales centrales en luces grandes sin que el concreto haya alcanzado la resistencia mínima adecuada.

También las fisuras se generan por la mala ubicación de las tuberías embebidas de las instalaciones eléctricas y sanitarias, que no respetan el recubrimiento mínimo en las losas y muros.

Las condiciones climáticas pueden ser una causa de fisuras sobre todo en las primeras viviendas vaciadas del proyecto en las cuales no se generó el micro clima para el fraguado del concreto, porque no se utilizaron las carpas, ni los calentadores de aire. El lento desarrollo de la resistencia en estos casos sumado a un pronto desencofrado característico del proceso constructivo pueden generar este defecto.

Para evitar este defecto en el concreto se implementó las siguientes acciones: el uso obligatorio de las carpas y los calentadores de aire durante el proceso de fraguado; también, se realizó un reapuntalamiento con posterior al desencofrado las losas que se mantuvo hasta terminar de desencofrar los muros y losas del nivel superior.

## CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

- a. El proceso constructivo de muros de ductilidad limitada con aislamiento térmico de planchas de poliestireno expandido, es un procedimiento adecuado para utilizar en viviendas, ubicada en regiones de clima frío como la sierra peruana, porque genera las condiciones de confort térmico requeridas por los pobladores alto andinos.
- b. El proceso constructivo de muros de ductilidad limitada con aislamiento térmico de planchas de poliestireno expandido, está conformado por 56 actividades y tiene una duración de 24 días continuos; necesarios para construir el casco estructural de una vivienda de 2 pisos con un área techada de 115 m<sup>2</sup>.
- c. Se generó un microclima, que mitigó los efectos adversos que produce el clima frío al proceso de fraguado del concreto. Para generar este microclima se usaron mantas de plástico impermeable termo fusionadas, montadas sobre postes de madera y tubos de acero; que se soportan del encofrado de la estructura, también se usaron en conjunto los calentadores de aire directo.
- d. El uso de mallas electrosoldadas como acero de refuerzo optimiza el flujo del proceso constructivo y mejora la productividad, en viviendas masivas.
- e. El empleo de encofrado metálico de aluminio para los elementos principales como muros y losa, es adecuado para el sistema de muros de ductilidad limitada con aislamiento térmico de poliestireno expandido. Pero en sus primeros usos genera deficiencias en el acabado superficial del concreto, esto se debe a la reacción de concreto con el aluminio. Por lo cual se tiene que curar la superficie del encofrado con cal y cemento.

- f. La habilitación y colocación de planchas de poliestireno expandido como aislante térmico es parte de un proceso constructivo novedoso en nuestro medio para la construcción de viviendas masivas. Y para este proyecto fue una alternativa apropiada.
  
- g. Para evitar la deformación del poliestireno expandido debido a los trabajos de colocación del concreto, es necesario considerar elementos adicionales de sujeción, que aporten a este material un mejor sostenimiento. Este refuerzo tiene que ser considerado en la etapa de ingeniería para no generar costos adicionales en la etapa de construcción.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- a. Debido a las características del clima frío y de las viviendas en la Sierra del Perú, deben buscarse soluciones para mitigar los impactos que ocasionan las épocas de invierno y de heladas con el fin que sus poblaciones residan en un ambiente con adecuado confort térmico.
- b. Se debe investigar la productividad que se obtuvo en este proyecto, con la finalidad de obtener ratios de mano de obra y evaluar económicamente proyectos de vivienda masiva con fines de interés social en las regiones que están expuestas al friaje. En este informe no se realizó esta investigación, porque el objetivo principal del presente informe es: presentar y describir el procedimiento constructivo para el sistema de muros de ductilidad limitada con aislamiento térmico, compuesto por planchas de poliestireno expandido (tecnopor).
- c. Se propone tomar mediciones en laboratorio para determinar el valor de la conductividad térmica  $\lambda$  ( $W/m\text{-}^{\circ}C$ ) para el sistema compuesto por el muro de ductilidad limitada con aislamiento de plancha de poliestireno expandido (tecnopor).

## BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute (ACI), "Guide to Cold Weather Concreting", ACI committee 306, Estado Unidos de America, 2010.
- Delgado Ehni Raul Javier, "Edificios Peruanos con muros de Concreto de Ductilidad Limitada", Tesis para Titulación Profesional, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2006.
- Graña y Montero S.A. (GyM). "Procedimientos Escritos de trabajo Seguro – Proyecto 1728 Ciudad Nueva Fuerabamba", Perú, 2013.
- Graña y Montero Ingeniería S.A. (GMI), "Memorias Descriptivas - Proyecto 1728 Ciudad Nueva Fuerabamba", Perú, 2012.
- Graña y Montero Ingeniería S.A. (GMI), "Especificaciones Técnicas - Proyecto 1728 Ciudad Nueva Fuerabamba", Perú, 2012.
- Huillca Huamán Edwin Edgar, "Proceso constructivo y costos de edificaciones en muros de ductilidad limitada", Tesis para Titulación Profesional FIC-UNI, Perú, 2011.
- Pérez Miguel, "Concreto en climas fríos, en las ciudades de Huancayo – Juliana – Tacna – Huancavelica – Arequipa". Tesis para titulación profesional FIC-UNI, Perú, 2006.

## ANEXOS

### **Anexo 1: Planos de Arquitectura – Vivienda tipo 1R**

- Distribución – 1er planta (110988-716-4-001-Rev2).
- Distribución – 2da planta y techos (110988-716-4-002-Rev2).
- Secciones (110988-716-4-003-Rev2).
- Elevaciones (110988-716-4-004-Rev2).
- Vistas 3D (110988-716-4-005-Rev2).

### **Anexo 2: Planos de Estructuras – Vivienda tipo 1R**

- Cimentación (110988-716-3-001-Rev3).
- Planta de techo y muros (110988-716-3-002-Rev3).
- Muros – detalles (110988-716-3-003-Rev3).
- Elevaciones (110988-716-3-004-RevA).
- Techo – detalles (110988-716-3-005-Rev3).
- Techo – detalles (110988-716-3-006-Rev3).

### **Anexo 3: Planos de Instalaciones Sanitarias – Vivienda tipo 1R**

- Agua – Primer y segundo piso (110988-716-12-001-Rev3).
- Desagüe – Primer y Segundo piso (110988-716-12-002-Rev3).
- Agua y desagüe – Detalles varios (110988-716-12-003-Rev3).
- Drenaje pluvial – (110988-716-12-004-Rev1).

### **Anexo 4: Planos de Instalaciones Eléctricas – Vivienda tipo 1R**

- 1er y 2da planta – Alumbrado (110988-716-7-501-Rev2).
- 1er y 2da planta – Tomacorrientes (110988-716-7-502-Rev2).
- Diagrama unifilar – Tablero de distribución  
(110988-716-7-101-Rev4)

### **Anexo 5: Planos de Canalización de voz y data – Vivienda tipo 1R**

- Canalización de voz y data (110988-716-8-001-Rev2).