



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2018 – 2019

**DISEÑO SOSTENIBLE DE UNA VIVIENDA DE BIEN
SOCIAL EN COSTA RICA**

AUTOR:

VÍCTOR ALFONSO REYES CARVAJAL

INGENIERO CIVIL

TUTORES:

ÁNGEL MÉNDEZ JAQUE

EFRÉN MORENO BENAVIDES

FEBRERO 2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la fuerza necesaria en cada momento, porque cuando no podía más, era mi soporte.

A mi esposa por acompañarme en esta aventura y ser parte de ella. Por aguantarme, motivarme y desestresarme en todo momento. Por cambiarme la vida sin avisarme ni pedirme permiso.

A mi familia, por apoyarme siempre en cada etapa de mi vida. A mis padres y hermanos que siempre me han dado los mejores consejos, me han ayudado en todo lo que los he necesitado y han sido mis amigos incondicionales. A mis primos, que son excelentes amigos, me han motivado y ayudado siempre que les ha sido posible. Estoy muy orgulloso de todos ellos.

A mis amigos del máster, que me motivaron a seguir adelante en los momentos que las cosas se complicaban y por ser como mi familia en España. Les agradezco a todos por haber sido parte de mi proceso académico y de mi vida, por cada noche de desvelo, ya sea por asuntos académicos o sociales.

A mis profesores tutores Efrén Moreno y Ángel Méndez, por sus recomendaciones y guía en todo el proceso. Por ayudarme a descubrir la teoría de máxima calidad, que considero todos los profesionales deberían conocerla y aplicarla.

A la Universidad de Costa Rica, por darme el soporte económico para estudiar este máster y por haberme dado las bases académicas para acceder a él. Soy afortunado de ser costarricense y de ser beneficiario de su sistema educativo, que me ha facilitado toda mi formación desde pequeño.

Víctor Alfonso Reyes Carvajal

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación es diseñar una vivienda sostenible de bien social para ser implementada en Costa Rica. El costo de la vivienda debe ajustarse al límite de ₡7.000.000 (aproximadamente €10.500) que corresponde al tope máximo del Bono Familiar de Vivienda, el cual es un subsidio que el estado costarricense otorga a las familias con vulnerabilidad económica y necesidad de vivienda.

Una vivienda sostenible es aquella que logra la máxima aceptación durante el mayor tiempo posible, estas características la hacen insustituible. Por lo tanto, para que una vivienda sea sostenible, debe ser la mejor alternativa posible y la de mayor calidad. El diseño de una vivienda sostenible es producto de la mezcla correcta de herramientas de decisión.

La innovación está estrechamente relacionada con la sostenibilidad. Para lograr un diseño sostenible los esfuerzos deben enfocarse en mejorar el rendimiento general del producto, esto se logra a través de la innovación. El mejor momento para generar innovación es en las primeras etapas del diseño del producto, sólo en este momento los esfuerzos por innovar son efectivos.

Como apoyo a la labor innovadora, en esta investigación se utiliza el despliegue de funciones de calidad (QFD). QFD es un método que permite identificar de manera sistemática las características que aumentan la satisfacción del cliente respecto a un producto. La labor innovadora de QFD, se enfoca en el diseño de productos que buscan mejorar la satisfacción de las necesidades del cliente.

Las necesidades que una vivienda debe satisfacer son muchas y varían de acuerdo con las personas que la habiten. Sin embargo, las limitaciones económicas de un proyecto de bien social exigen reducir las necesidades a lo más básico. En el proyecto se determinan las necesidades básicas y generales de las familias típicas que son beneficiadas por el Bono Familiar de Vivienda.

Para sacar máximo provecho a QFD, las necesidades del cliente se tratan de distinta manera dependiendo de los objetivos que cada una busque. Para lograr esta distinción, se clasifican utilizando el modelo Kano, el cual establece distintas categorías que consideran la reacción del cliente ante el cumplimiento de la necesidad. Esto evita problemas en el funcionamiento de QFD y permite dirigir sus resultados hacia los elementos de mayor interés para cada una de las categorías.

En base al modelo Kano las necesidades se clasifican en obligatorias, unidimensionales y atractivas. Para cada una de estas categorías se diseña una metodología de despliegue de calidad distinta, basada en el uso del QFD. Mediante la cual se obtienen componentes funcionales, criterios de diseño y materiales de construcción, que logran elevar el nivel la satisfacción de las necesidades del propietario de la vivienda.

Los componentes funcionales, los criterios de diseño y los materiales de construcción obtenidos a partir del despliegue de calidad, son utilizados para elaborar un diseño preliminar de la vivienda. Para lo cual, también es necesario tomar algunas decisiones de diseño que dependen del criterio profesional del diseñador.

El diseño preliminar realizado incluye más elementos de los que el presupuesto económico permite incluir al proyecto. Por lo que deben seleccionarse los elementos que permanecen en el diseño final. Esta selección se realiza en base a su rendimiento económico para el aumento del nivel de satisfacción del propietario.

Los componentes funcionales y los criterios de diseño que satisfacen las necesidades obligatorias no son opcionales por lo que deben incluirse en el proyecto. Para seleccionar las características de la vivienda en las que se invierten el resto de los recursos, se toma en consideración su costo y el nivel de satisfacción que cada una de ellas logra en el propietario de la vivienda.

Finalmente, se presentan los detalles constructivos de la vivienda y como complemento al diseño se detalla el proceso constructivo que debe seguirse.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. MOTIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 2 |
| 1.2.1. OBJETIVO GENERAL | 2 |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 2 |
| 1.3. MARCO TEÓRICO | 2 |
| 1.3.1. DESARROLLO SOSTENIBLE | 2 |
| 1.3.2. MÁXIMA CALIDAD | 4 |
| 1.3.3. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD) | 5 |
| 1.3.4. VIVIENDAS DE BIEN SOCIAL EN COSTA RICA | 5 |
| 1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA | 7 |
| 1.4.1. ALCANCES | 7 |
| 1.4.2. LIMITACIONES | 7 |
| 2. TEORÍAS DE DISEÑO | 8 |
| 2.1. MÉTODO QFD | 8 |
| 2.1.1. IMPORTANCIA DE QFD | 8 |
| 2.1.2. HISTORIA DE QFD | 9 |
| 2.1.3. IMPLEMENTACIÓN DE QFD | 9 |
| 2.1.4. LA CASA DE LA CALIDAD | 11 |
| 2.1.5. INDEPENDENCIA DE LOS “QUÉ’S” | 13 |
| 2.1.6. RECOMENDACIONES | 13 |
| 2.1.7. DIFICULTADES | 14 |
| 2.1.8. SUPUESTOS | 14 |
| 2.1.9. APLICACIONES DE QFD EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN | 14 |
| 2.2. MODELO KANO | 15 |
| 2.2.1. CATEGORÍAS PRINCIPALES | 15 |
| 2.2.2. VENTAJAS DE UTILIZAR EL MODELO KANO | 16 |
| 3. METODOLOGÍA DESARROLLADA | 17 |
| 4. ETAPA 1: DEFINICIÓN DE LAS NECESIDADES | 20 |
| 4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROPIETARIO | 20 |
| 4.2. DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL PROPIETARIO | 21 |
| 4.3. ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DEL PROPIETARIO | 21 |
| 5. ETAPA 2: DESPLIEGUE DE CALIDAD | 25 |

| | |
|--|----|
| 5.1. DESPLIEGUE DE CALIDAD DE NECESIDADES OBLIGATORIAS | 25 |
| 5.1.1. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES FUNCIONALES | 26 |
| 5.1.2. DETERMINACIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO | 27 |
| 5.1.3. DESPLIEGUE DE MATERIALES | 28 |
| 5.2. DESPLIEGUE DE CALIDAD DE NECESIDADES UNIDIMENSIONALES | 32 |
| 5.2.1. DESPLIEGUE DE ELEMENTOS DE CALIDAD | 33 |
| 5.2.2. DESPLIEGUE DE COMPONENTES FUNCIONALES | 35 |
| 5.2.3. DESPLIEGUE DE MATERIALES | 40 |
| 5.3. DESPLIEGUE DE CALIDAD DE NECESIDADES ATRACTIVAS | 45 |
| 5.3.1. DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS DE CALIDAD | 46 |
| 5.3.2. DETERMINACIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO | 47 |
| 6. ETAPA 3: DISEÑO DE LA VIVIENDA Y ANÁLISIS ECONÓMICO | 48 |
| 6.1. DISEÑO DE LA VIVIENDA | 48 |
| 6.1.1. DECISIONES DE DISEÑO | 49 |
| 6.1.2. DISEÑOS CONSTRUCTIVOS | 52 |
| 6.2. ANÁLISIS ECONÓMICO | 57 |
| 6.2.1. PRESUPUESTO DISPONIBLE PARA LA OBRA | 57 |
| 6.2.2. PRESUPUESTO DE COMPONENTES OBLIGATORIOS | 57 |
| 6.2.3. PRESUPUESTO DE COMPONENTES UNIDIMENSIONALES | 60 |
| 6.3. PROCESO CONSTRUCTIVO | 63 |
| 7. CONCLUSIONES | 65 |
| 7.1. CONCLUSIONES SOBRE EL MÉTODO USADO | 65 |
| 7.2. CONCLUSIONES SOBRE LOS RESULTADOS FINALES | 66 |
| 7.3. RECOMENDACIONES | 66 |
| 7.4. LÍNEAS A FUTURO | 67 |
| ANEXOS | 68 |
| ANEXO 1: ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA DE ACERO | 68 |
| ANEXO 2: DETALLES DE PUERTAS, VENTANAS Y REJILLAS | 69 |
| ANEXO 3: CRONOGRAMA DE ELABORACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 70 |
| ANEXO 4: TIEMPO INVERTIDO Y COSTO DE LA INVESTIGACIÓN | 71 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 72 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 74 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 75 |
| GLOSARIO | 76 |

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan aspectos que permiten una visión general del tema de investigación, se expone la justificación y la relevancia del proyecto y se aporta documentación científica indispensable para comprender el contexto sobre el que se desarrolla el estudio, lo que proporciona las bases para alcanzar los objetivos de la investigación.

1.1. MOTIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La crisis económica global amenaza fuertemente el modelo comercial de Costa Rica. Para lograr la ansiada recuperación es necesario alcanzar un mejor posicionamiento en el mercado que permita hacer frente a la actual incertidumbre. Una apuesta por la sostenibilidad es clave para lograr estos objetivos, ya que los proyectos sostenibles brindan la posibilidad de reducir costos y aumentar ingresos, sin perder de vista el bienestar social y la protección del medio ambiente, que son elementos claves para impulsar aún más el crecimiento. (Jonker & Harmsen, 2013)

Muchos aspectos deben considerarse durante el proceso de diseño de una vivienda. La solución debe optimizarse teniendo en cuenta una gran cantidad de necesidades y limitaciones, para lo cual debe seleccionarse entre diferentes alternativas disponibles. El diseño arquitectónico convencional enfatiza en la intuición y la experiencia del diseñador. Sin embargo, estas herramientas son insuficientes para la obtención de un diseño de máxima calidad que propicie la sostenibilidad. (Marchesi, Fernandez, Dominik, & Sang-Gook, 2014)

Según datos publicados por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA) en el año 2017 en Costa Rica se construyeron un total de 3.517.227 m² de obras con fin habitacional, de los cuales 482.400 m² corresponden a viviendas de bien social, lo que representa un 13,71% del total de área construida en el país. Esto demuestra la importancia que tiene en Costa Rica el Bono Familiar de Vivienda como solución a la necesidad de vivienda existente.

En la construcción de proyectos tanto de bien social como de otros tipos se presentan altos índices de desperdicio de materiales y tiempo, lo cual se ve reflejado en sobrecostos, bajos niveles de productividad y retrasos en la programación de obra. (García, 2012). En las fases de diseño inicial y conceptual, la actividad de diseño es más importante y desafiante que en las últimas fases, ya que los arquitectos tienen la mejor oportunidad para tomar buenas decisiones, así como el riesgo de tomar malas decisiones para abordar la complejidad del diseño de edificios sostenibles e influir en los resultados del proyecto. Usualmente, durante esta fase inicial del proceso de diseño, los arquitectos usan experiencias y conocimientos previos y definen un problema bastante simplificado para estimular la conjetura temprana de posibles soluciones. (Marchesi et al., 2014)

La necesidad de edificios sostenibles es cada vez mayor, lo que aumenta la necesidad de mejorar la comprensión de cómo estos se diseñan. En el diseño de edificios sostenibles, el objetivo es alcanzar una sostenibilidad global en la que las soluciones de diseño satisfagan los requisitos especificados en cuanto a calidad, costo, tiempo y uso eficiente de recursos y consideración del contexto, el ambiente y la cultura local. (Marchesi et al., 2014)

El motivo de la investigación se centra en la búsqueda de una solución de diseño que logre evitar los problemas constructivos destacados en los párrafos anteriores y maximizar la

satisfacción del propietario, mediante el uso del método del Despliegue de Funciones de Calidad (QFD), que es una herramienta de eficiencia ampliamente demostrada para este tipo de aplicaciones. En la sección 1.3.3 se introduce a la metodología de QFD, posteriormente, en la sección 2.1 se describe en detalle la herramienta, su utilización y aplicación en el sector de la construcción.

A través de esta investigación se pretende demostrar que un proyecto de construcción de vivienda de bien social puede ser optimizado en cuanto a beneficios económicos, ecológicos y sociales simultáneamente. Además, se pretende brindar a la industria de la construcción costarricense no sólo una alternativa al diseño de una vivienda de bien social, sino también las herramientas que permitan el desarrollo de futuras investigaciones para proyectos similares.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Diseñar una vivienda sostenible de bien social para ser implementada en Costa Rica.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Incorporar la participación de los propietarios en la definición de los elementos arquitectónicos de la vivienda.
- ✓ Demostrar el potencial de QFD para apoyar la actividad de toma de decisiones iniciales para el desarrollo de diseños sostenibles de viviendas.
- ✓ Comprobar los beneficios de aplicar QFD en el sector de la construcción.

1.3. MARCO TEÓRICO

1.3.1. DESARROLLO SOSTENIBLE

La definición de desarrollo sostenible más aceptada es la propuesta por la Comisión de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en el Informe Brundtland de 1987, donde se define de la siguiente forma “*desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las propias*”. Por lo tanto, el desarrollo sostenible intenta integrar los intereses sociales, ambientales y económicos.

La forma en que opera nuestra sociedad industrial ya no es sostenible y, además, amenaza las posibilidades de desarrollo de los menos privilegiados y las generaciones futuras. La sociedad industrial es responsable del agotamiento y la contaminación de nuestro planeta tierra y nos ha forzado a tomar riesgos de magnitudes desconocidas. Los sistemas naturales han sido alterados más allá del punto de retorno. La distribución desigual de los recursos de la tierra crea tensiones insoportables entre el 20% de ricos y el 80% de pobres de nuestro planeta. (Mulder, 2007)

El desarrollo sostenible es actualmente uno de los principales impulsores de muchas empresas. En algún momento del pasado, era solo una parte de la política oficial de las empresas, pero actualmente los objetivos de negocio se establecen para hacer una contribución importante al desarrollo sostenible. Para alcanzar estos objetivos, los procesos de fabricación y los productos tienen que cambiar. El diseño es el lenguaje vehicular mediante el cual los constructores pueden

realizar el nuevo proceso y también es el medio que permite a los fabricantes hacer el producto. (Jonker & Harmsen, 2013)

Los diseños sostenibles persiguen los mismos objetivos que los diseños convencionales, con la gran diferencia de que tienen un compromiso con la sostenibilidad, el alcance de dicho compromiso depende de la sociedad donde vivamos. Los diseños sostenibles resultan a menudo en soluciones innovadoras que requieren ser investigadas y desarrolladas antes de que puedan lanzarse al mercado. La tarea de diseñar un proyecto sostenible, al ser más compleja que la de uno convencional, requiere mucha creatividad, así como la integración de una gran cantidad de información proveniente de áreas de conocimiento muy diferentes. Los proyectos sostenibles se relacionan estrechamente con la innovación. (Jonker & Harmsen, 2013)

La figura 1, muestra esquemáticamente que en el proceso de diseño la libertad disminuye a medida que éste avanza (línea negra), mientras que el tiempo y el capital invertidos aumentan (línea roja). Durante el tiempo de ejecución del proyecto, la libertad necesaria para hacer contribuciones importantes en la reducción de los costes de capital y operación, así como en la implementación de medidas para reducir el riesgo, son cada vez menores a medida que transcurre el tiempo. Sin embargo, durante el tiempo del proyecto no solo los conocimientos adquiridos aumentan, sino que también lo hace el tiempo invertido (y los costes). La ventana de operación para la innovación y también para la creación de un proyecto sostenible se halla en la etapa inicial (sombreada en verde). En ella el efecto de las nuevas ideas tiene el mayor impacto en el proyecto final. (Jonker & Harmsen, 2013)

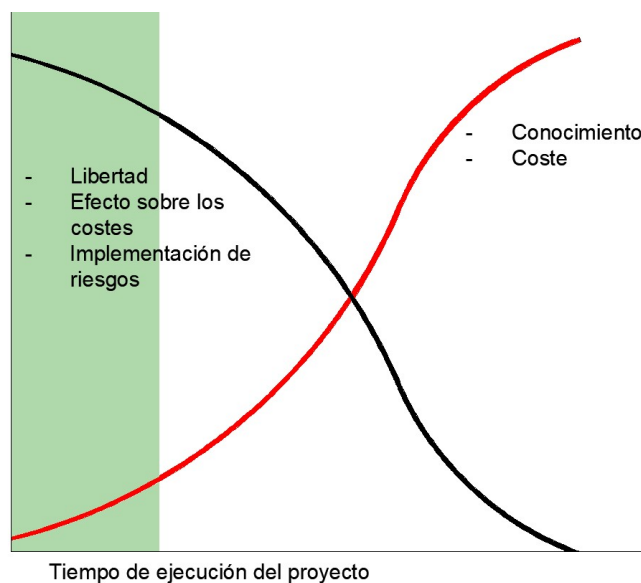


Figura 1: Paradoja del proyecto y el desarrollo

Curvas de libertad, impacto, conocimiento y coste frente al tiempo de ejecución del proyecto.

El área sombreada en verde es la ventana de operación más efectiva para hallar vías de innovación y crear un diseño sostenible. (Jonker & Harmsen, 2013)

La sostenibilidad es un acervo de innovaciones organizativas y tecnológicas que generan rendimientos tanto en los resultados como en los ingresos. Hacerse amigable con el ambiente reduce los costos porque las empresas terminan reduciendo los insumos que usan. Además, el proceso genera ingresos adicionales a partir de mejores productos o permite a las empresas crear nuevas empresas. De hecho, debido a que esos son los objetivos de la innovación

corporativa, encontramos que las compañías inteligentes ahora consideran la sostenibilidad como la nueva frontera de la innovación. (Nidumolu et al., 2009)

Un producto sostenible es aquel que logra la máxima aceptación durante el mayor tiempo posible, esto hace que dicho producto no sea sustituido por el mercado, por lo tanto, su barrera de entrada al mercado debe ser máxima, en consecuencia, un producto sostenible es el mejor producto y el de mayor calidad. Esto debido a que si el producto se mantiene como líder en el mercado no hay necesidad de gastar más recursos para sustituirlo. Para realizar un diseño sostenible se debe optimizar el proceso de diseño mediante la correcta mezcla de las herramientas de decisión, obtenidas del análisis en el proceso de síntesis. Existe un elevado número de necesidades que satisfacer y un conjunto limitado de recursos para hacerlo, por lo tanto, es necesario priorizar las necesidades y de esta forma optimizar la solución.

Existen diferentes teorías de diseño sostenible, para el caso de este estudio la que se considera más apropiada es la teoría de diseño de máxima calidad, la cual se estudiará en las siguientes secciones.

1.3.2. MÁXIMA CALIDAD

De acuerdo con Zaïdi (1993), los principales problemas que enfrentan las empresas para lograr productos y servicios de calidad son los siguientes:

- ✓ Procedimientos demasiado pesados.
- ✓ Inexistencia o desconocimiento de las exigencias.
- ✓ Falta de rigor.
- ✓ Barreras en la comunicación.
- ✓ Falta de un lenguaje común.
- ✓ Intereses personales / de grupo.
- ✓ Política a corto plazo.
- ✓ Desmotivación del personal.

La industria japonesa se ha convertido en líder mundial en tema de calidad, este mérito lo han logrado gracias a su innovadora definición del término “*Calidad*” dado por la norma japonesa Z8101-1981:

“Conjunto de medios para producir de manera económica productos y servicios que satisfagan las exigencias de los clientes. La puesta en práctica de una gestión eficaz de la calidad requiere la cooperación de todo el personal de la empresa y la implicación de la Dirección General, de los directivos, del conjunto de los mandos intermedios y de los operarios de todos los sectores de la empresa como Marketing, Investigación y Desarrollo, Programación, Diseño, Métodos, Compras, Producción, Control de Calidad, Ventas y Postventa, así como Finanzas, Administración de Personal, Formación y Educación. La calidad practicada de este modo se denomina Calidad Total.”

La calidad debe hacer que la empresa trabaje, no a partir de los problemas con los que se tropieza el cliente sino, sobre todo, a partir de las expectativas del cliente, de modo que éste no se halle solamente satisfecho sino también colmado. El cliente debe poder recibir productos y servicios que funcionen mejor, más fiables, a precios más bajos y con plazos de entrega más cortos. La nueva función de calidad debe conseguir que la empresa considere que la estabilidad forma parte del pasado, y que se encuentra hoy en día dentro de un entorno en el que la

estabilidad sólo se busca con vistas a preparar un nuevo cambio. La nueva función de calidad debe ayudar a la empresa a adoptar el ritmo impuesto por el nuevo entorno: desarrollo tecnológico e introducción en el mercado más rápidos, ciclos de vida de los productos más cortos, desarrollo más rápido de la competencia, etc. (Zaïdi, 1993)

Para lograr la calidad total de la cual se habla en la definición de la norma japonesa Z8101-1981, puede utilizarse el método del despliegue de funciones de calidad (QFD). QFD constituye una guía e indica los medios necesarios para llevar a cabo la calidad total. De este modo, el conjunto mantiene una solidez y todo tiene una justificación. QFD no es una herramienta más, sino una herramienta indispensable si se quiere aplicar de manera concreta y eficaz la calidad total, y si se quieren evitar, o al menos minimizar, los problemas tradicionales que inciden en el rendimiento de las empresas. Del mismo modo que no se puede aplicar una ley sin los decretos, no se puede poner en práctica la calidad total sin el QFD. (Zaïdi, 1993)

1.3.3. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD)

QFD consiste en un conjunto de rutinas de planificación y comunicación, que busca enfocar y coordinar las habilidades dentro de una organización, primero para diseñar y luego para fabricar y comercializar los productos que los clientes desean comprar y continuar comprando. (Hauser & Clausing, 1988).

La empresa tiene que desarrollar productos para sus clientes y no para sí misma. Para ello, tiene que conocer a sus clientes, escucharlos, comprenderlos, tener en cuenta y prever todas sus expectativas y no trabajar más que sobre estas expectativas. También tiene que organizarse, comunicarse y funcionar para que todos sus esfuerzos converjan al mismo tiempo hacia un mismo y único objetivo: la satisfacción total del cliente. La metodología de QFD permite traducir con fidelidad y de manera concertada, concreta, objetiva, rigurosa, sistemática y disciplinada las expectativas del cliente en especificaciones operativas internas y en acciones para la definición del producto, la programación, el diseño, la homologación, la producción, el control, la venta y postventa. (Zaïdi, 1993)

QFD traduce los requisitos difíciles de entender del cliente en características técnicas mensurables a través de una serie de matrices de relaciones en cascada (casa de la calidad). La matriz de relaciones garantiza que cada necesidad del cliente se aborde con al menos un elemento en el diseño, y además ayuda a los diseñadores a comprender mejor los elementos de diseño más importantes. (Lindsey R Gilbert, 2014)

Durante la fase de concepción del diseño de un edificio, se toman las decisiones de diseño que tienen mayor influencia en la constructibilidad del proyecto. QFD es una metodología integrada de toma de decisiones que puede asegurar y mejorar el alineamiento de los elementos del proceso de diseño y construcción con los requisitos de los clientes. (Yang, Wang, Dulaimi, & Low, 2003)

1.3.4. VIVIENDAS DE BIEN SOCIAL EN COSTA RICA

La vivienda de bien social que se diseña en este estudio debe ser financiada en su totalidad por un Bono Familiar de Vivienda de Costa Rica. El Bono Familiar de Vivienda es una donación que el estado costarricense, de forma solidaria, otorga a las familias de escasos recursos económicos y de clase media, familias en riesgo social o situación de emergencia, personas con discapacidad o ciudadanos adultos mayores, entre otros grupos sociales, para que, unido a su

capacidad de crédito, puedan solucionar su problema habitacional. Actualmente, el tope máximo del subsidio es **₡7.000.000 (aproximadamente 10.500 €)**, el monto a recibir por una familia depende de sus ingresos. La institución que se encarga de otorgar los bonos es el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU).

Para optar por el bono es requisito presentar estudios de ingeniería que respalden que el terreno presenta condiciones que permiten la construcción de la vivienda y documentos que acrediten el acceso y la disponibilidad de servicios públicos. En este caso se considerará uno de los casos más comunes que corresponde a construcción en terreno propio.

Tabla 1: Dimensiones reglamentarias

| Ambiente | Ancho mínimo (libre en m) | Área mínima (m ²) |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Baño | 1,05 | 2 |
| Cocina | 1,6 | 4 |
| Pilas (externo) | 1 | 1,5 |
| Espacio múltiple | 2,5 | 12,5 |
| Dormitorio principal | 2,5 | 7,5 |
| Dormitorios auxiliares | 2 | 6 |
| Sala | 2,5 | 0,75 |
| Comedor | 2,5 | 6,5 |
| Sala - comedor | 2,5 | 12,5 |
| Cocina - comedor | 2,5 | 9 |
| Sala - cocina - comedor | 2,5 | 13 |

Una vivienda construida mediante la financiación del Bono Familiar de Vivienda debe cumplir con todo lo establecido en la normativa costarricense, considerando la salvedad de que será declarada como de bien social, por lo que se rige por un marco legal especial. Las dimensiones mínimas que deben considerarse para viviendas de bien social se indican en la Tabla 1. (Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, 1987)

De acuerdo con el INVU, estas viviendas deben contar con un área mínima de 30 m² y con una altura mínima de piso a cielo de 2,20 m. Además, se indica que el área mínima de ventanas se debe ajustar a lo siguiente:

- ✓ En zonas templadas o frías: Mínimo un 10% del área de piso del espacio interior.
- ✓ En zonas húmedas calientes: Mínimo un 20% del área de piso del espacio interior.
- ✓ En zonas secas calientes: Mínimo un 15% del área de piso del espacio interior.

Las viviendas pueden ser sin cielo raso siempre y cuando se garantice una circulación de aire en la parte superior de la viga corona. Los pisos deberán ser de algún material que tenga una relativa durabilidad, debe quedar nivelado y libre de desprendimiento de polvo o partículas por el uso diario de las personas o muebles.

Las viviendas de bien social deben ser diseñadas considerando todas las limitaciones presentadas en los párrafos anteriores, pero no debe dejarse de lado la satisfacción de las necesidades del propietario. Un diseño de máxima calidad elaborado utilizando QFD logra mejorar el uso de los recursos económicos disponibles, ya que considera desde las primeras etapas del proceso de diseño tanto las restricciones del proyecto, como los componentes de mayor importancia para el propietario. Una vivienda de bien social diseñada mediante la

metodología QFD corresponde a la mejor solución posible, lo que significa un aumento en el bienestar de las personas involucradas y de la sociedad en general.

1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La investigación se enfoca en el diseño de una vivienda en Costa Rica. Por lo tanto, deben considerarse elementos propios de la sociedad costarricense y del modo de vida de las personas, elementos naturales y climáticos del territorio costarricense y elementos legislativos. A continuación, se presentan los alcances y las limitaciones de la investigación.

1.4.1. ALCANCES

Costa Rica es un país con alto riesgo sísmico en la mayor parte de su territorio, esto debe ser considerado como una necesidad en cuanto a resistencia estructural para soportar sismos. Esta situación afecta el diseño final de la vivienda. Los diseños estructurales se basarán en los diseños simplificados del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR), con lo cual se logra un desempeño estructural que asegure la estabilidad de la vivienda ante riesgos sísmicos.

Otra característica de Costa Rica es la alta precipitación que se presenta en todo el territorio, las regiones más lluviosas pueden sobrepasar los 600mm en el mes de precipitaciones más extremas. Este elemento debe considerarse, de manera que se logren evitar problemas por penetración de agua al interior de la vivienda y por humedad que pueda afectar la resistencia de los materiales constructivos. Es importante considerar que los riesgos de inundación y de deslizamientos son menores, debido a que previo a la aprobación del Bono Familiar de Vivienda, la institución encargada del financiamiento verifica que la ubicación del terreno no presente vulnerabilidades de este tipo.

Las necesidades del propietario que han de satisfacerse se determinarán a partir de la opinión experta del autor, en base a un análisis de la literatura disponible sobre el tema, de manera que se obtenga la lista de necesidades más apropiada y representativa posible. De igual forma se procede para la determinación del nivel de importancia de cada una de las necesidades.

1.4.2. LIMITACIONES

A pesar de que Costa Rica es un país pequeño tiene una significativa variabilidad en cuanto a las temperaturas promedio anuales a lo largo de todo el territorio (salvo excepciones puntuales), siendo normal que en las regiones más cálidas se alcancen temperaturas de hasta los 40°C durante la época seca, mientras que para las regiones más frías se pueden alcanzar temperaturas mínimas de hasta 10°C en los momentos más fríos del año. Debido a que el calor es más extremo y predominante que el frío, se toma la decisión de diseñar para altas temperaturas, por lo tanto, este trabajo no es válido para regiones del país que cuenten con bajas temperaturas durante la mayor parte del año.

En esta investigación no se considera la disponibilidad de recursos básicos como agua y electricidad, debido a que uno de los requisitos para obtener el Bono Familiar de Vivienda es que se cuente con certificaciones de disponibilidad de estos recursos para el terreno correspondiente, dichas certificaciones deben ser emitidas por la institución pública que brinde el servicio en el territorio en cuestión.

2. TEORÍAS DE DISEÑO

Este trabajo pretende desarrollar un procedimiento sistemático para el diseño de una vivienda sostenible de bien social en Costa Rica, mediante la implementación de teorías que velan por el análisis de las diversas posibilidades existentes antes de tomar una decisión, optimizando el proceso de diseño.

La investigación se desarrollará mediante el uso de QFD en conjunto con el Modelo Kano. QFD se utiliza para definir los elementos que formarán parte del proyecto y la forma en que cada uno de dichos elementos será implementado, todo con el fin de satisfacer las necesidades del propietario de la vivienda. El modelo Kano se utiliza para clasificar las necesidades del cliente en diferentes categorías, lo que permitirá tratarlas conforme a la influencia que cada necesidad tiene en la satisfacción del cliente.

Esta metodología logra un marco de diseño inicial respaldado por criterios de decisión, que buscan dirigir de manera sistemática la solución hacia los objetivos establecidos y de esta forma asegurar la consistencia de las decisiones de diseño a lo largo del proceso. En este capítulo se estudia el método QFD y el modelo Kano.

2.1. MÉTODO QFD

2.1.1. IMPORTANCIA DE QFD

En 1987 de acuerdo con Akao (1997), una encuesta sobre el estado de la aplicación QFD entre 80 empresas japonesas indicó que el propósito de usar QFD es el siguiente: “establecer calidad de diseño y calidad planificada, utilizar benchmarking para lograr productos competitivos, desarrollar nuevos productos que diferencien a la compañía de sus competidores, lo anterior, analizando y acumulando información sobre la calidad en el mercado, comunicando información relacionada con la calidad a procesos posteriores, implementando la intención del diseño en la fabricación, identificando puntos de control para la *gemba* (palabra japonesa que se refiere al entorno de trabajo donde se transforma el producto para añadirle valor), con lo cual se logra reducir los problemas iniciales de calidad, reducir los cambios de diseño, reducir el tiempo de desarrollo, reducir los costos de desarrollo y expandir la participación en el mercado”.

Los principales beneficios de QFD son: mejor satisfacción del cliente como resultado de una mejor calidad de diseño; plazos de entrega más cortos debido a la anticipación y disminución de los cambios de ingeniería; mejores enlaces entre distintas etapas de diseño y fabricación; una reducción en el número de componentes del producto; y una atmósfera de trabajo mejorada mediante la integración horizontal de funciones. Además, disminuye las dificultades de puesta en marcha del proyecto y fomenta la documentación de los conocimientos de marketing, diseño, ingeniería y fabricación de productos de forma coherente y objetiva. (Lockamy & Khurana, 2013)

En los últimos años ha aumentado la gama de aplicaciones del QFD y su refinamiento metodológico. Se lo ha utilizado en el planeamiento estratégico tanto en operaciones de manufactura como de servicios, en empresas grandes y pequeñas. Se lo ha aplicado a la comprensión de fenómenos organizacionales y a la mejora de servicios en el sector público y en la educación. Algunos modelos del QFD emplean enfoques que contemplan el impacto ambiental de los diseños. En el terreno metodológico, finalmente, varios autores han aplicado

la lógica de conjuntos difusos para tratar con variables subjetivas como la voz del cliente. (Yacuzzi & Martín, 2016)

2.1.2. HISTORIA DE QFD

El método del despliegue de la función de calidad (QFD) fue desarrollado en Japón por Shigeru Mizuno y Yoji Akao, posterior a la Segunda Guerra Mundial cuando las industrias japonesas rompieron su modo de desarrollo de productos a través de la imitación y copiado y se trasladaron al desarrollo de productos basados en la originalidad. QFD nació en este entorno como un método o concepto para el desarrollo de nuevos productos en el marco del Control Total de Calidad. (Akao, 1997). En ese momento se estaba introduciendo el control de calidad como elemento importante de la gestión empresarial japonesa, de ahí que el objetivo fundamental de QFD sea asegurar la calidad de los productos antes de que sean manufacturados. QFD redirige el “control de calidad” hacia la satisfacción del cliente dejando de lado el enfoque anterior, dirigido hacia el control de un problema.

QFD fue conceptualizado a finales de la década de 1960, e inmediatamente fue adaptado por varias compañías, pero sin llamar mucho la atención pública. Pocos años después, en 1972, fue implementado por Mitsubishi Heavy Industries Ltd. en los astilleros de Kobe. A pesar de que su implementación fue seguida por aplicaciones exitosas en todo Japón, por ejemplo, en Toyota, QFD continuó siendo una herramienta exclusivamente japonesa hasta principios de la década de 1980, cuando fue expuesta al mundo, gracias a la publicación en 1983 del artículo *Quality function deployment and company wide quality control in Japan: A strategy for assuring that quality is built into products* de Kogure y Akao. Con lo cual, QFD empezó a desempeñar un papel importante en empresas como General Motors, Chrysler, Digital Equipment, Hewlett-Packard, AT & T, Procter and Gamble, y Baxter Healthcare. (Karsak, Sozer, & Alptekin, 2003)

Gracias a su amplitud y flexibilidad, a lo largo de los años el método ha sido aplicado en cada vez más sectores industriales de todo el mundo. A pesar de su larga trayectoria, QFD aún se mantiene en constante investigación, por lo que siguen emergiendo nuevos pensamientos y experiencias, generando innovaciones que le convierten en una herramienta cada vez más poderosa.

2.1.3. IMPLEMENTACIÓN DE QFD

QFD se compone de una serie de "matrices de calidad" que mueven un diseño desde la voz del cliente hasta el nivel detallado de operaciones. La casa de la calidad es la primera fase y podría decirse que es la fase más importante del proceso de QFD. La Casa de la Calidad muestra la voz del cliente y la traduce en requisitos técnicos, usando la importancia de los diferentes valores de necesidades del cliente para ayudar a determinar los requisitos técnicos más importantes con el fin de garantizar la satisfacción del cliente con el producto. (Lindsey R Gilbert, 2014)

Además de la Casa de la Calidad, QFD por lo general requiere de tres matrices adicionales: la matriz de planificación de las partes, traduce los requisitos técnicos más importantes en características de productos/partes; la matriz de planificación del proceso, traduce las características de productos/partes en operaciones de fabricación; y la matriz de producción/planificación de la operación, traduce operaciones de fabricación en las operaciones y controles del día a día. (Karsak et al., 2003). En la figura 2 se presenta el esquema de general de QFD.

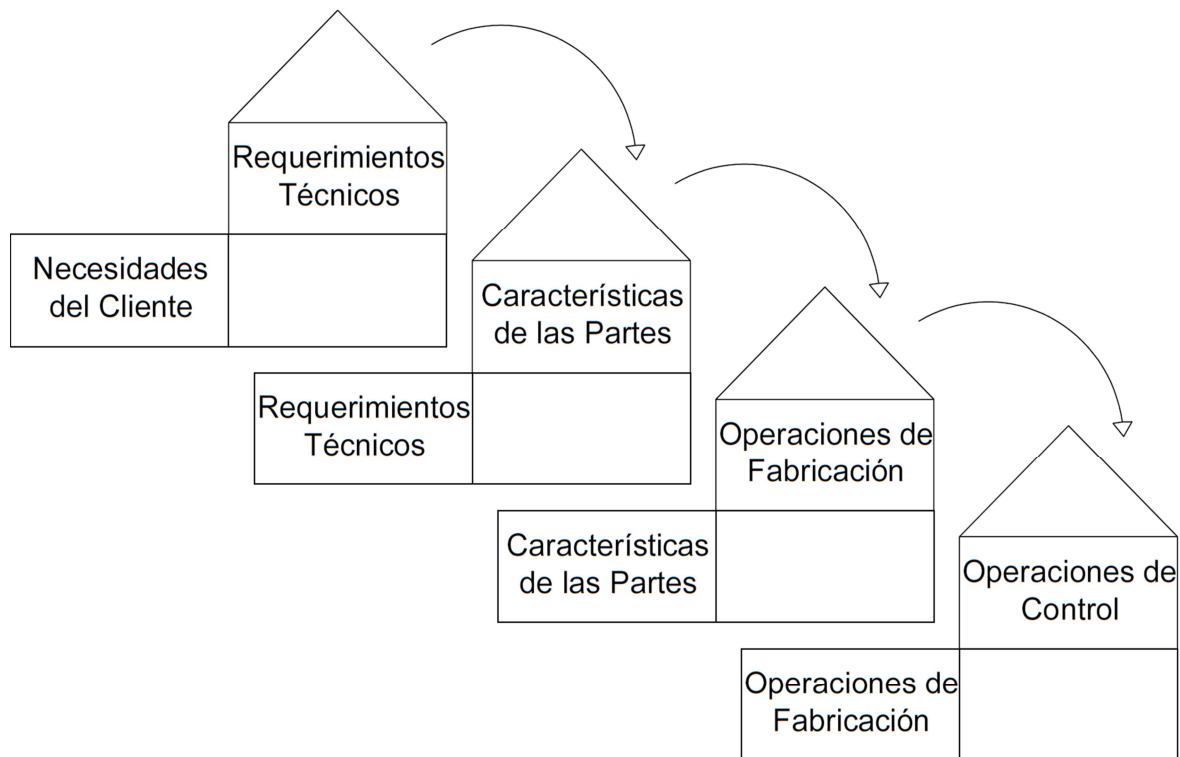


Figura 2: Esquema general de QFD

La primera de las matrices es la más importante de todas y se conoce como la Casa de La Calidad, posterior a ella existen 3 fases adicionales.

Podemos decir que el departamento de marketing escucha la voz del cliente, el equipo de ingeniería la incorpora en el diseño de productos y servicios y, finalmente, el departamento de operaciones los produce de modo rentable y competitivo. La gestión de la calidad, originariamente establecida en la función de operaciones, abarca hoy a la empresa en su conjunto, que se preocupa como un todo por los clientes, la mejora continua y el trabajo en equipo. El QFD contribuye a integrar estas áreas y actividades, descubriendo las necesidades de los clientes, orientando la integración de equipos de diseño y fabricación de productos, y, en un proceso de mejora continua, respondiendo a los requerimientos del mercado con costos decrecientes, menores plazos para el lanzamiento de nuevos productos y otros criterios competitivos. (Yacuzzi & Martín, 2016).

Para utilizar QFD de manera adecuada es necesario conocer cada una de las variables que forman parte del proceso de construcción de la vivienda y tener información detallada y precisa de las expectativas del cliente. Es deseable que durante el proceso de desarrollo de QFD se tomen en consideración los criterios de los elementos multidisciplinarios que participan en las diferentes fases de la elaboración del producto. Los pasos específicos de la metodología QFD son los que se presentan en la figura 3.

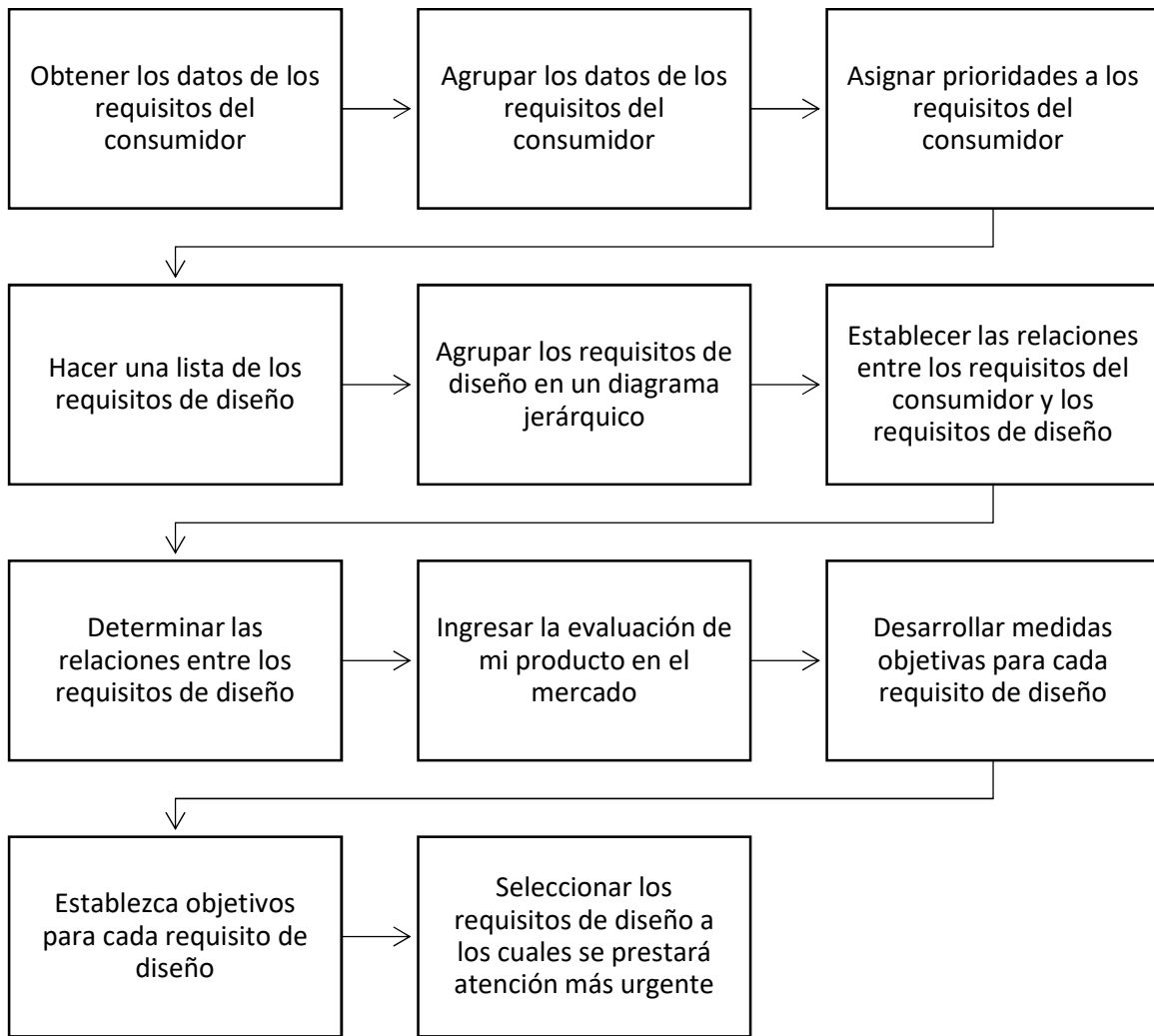


Figura 3: Pasos específicos de QFD

La metodología inicia con la identificación de las necesidades del cliente y a partir de estas desarrolla cada uno de los elementos que forman parte del producto.

En la siguiente sección, se explica el funcionamiento de la Casa de la Calidad como elemento principal de QFD.

2.1.4. LA CASA DE LA CALIDAD

La Casa de la Calidad cuenta con un destacado valor integrador que, en un único gráfico, indica los requerimientos del cliente, establece las características técnicas capaces de satisfacerlos, y brinda la posibilidad de comparar el producto de la propia empresa con otros de la competencia. Pero este valor integrador no se reduce al aspecto gráfico, sino que influye sobre la organización en su conjunto; en efecto, gracias a la casa de la calidad, los integrantes de áreas heterogéneas de la firma se forman una idea más acabada de las complejas relaciones que hacen al diseño de productos satisfactorios. De esta forma, se comprende mejor la importancia de los datos, se facilita el diálogo, se asignan prioridades, y se establecen métricas y objetivos armónicos—todo ello sin perder el contacto con el cliente y con los productos de los competidores. (Yacuzzi & Martín, 2016). La Casa de la Calidad típicamente se construye como se muestra en la figura 4.

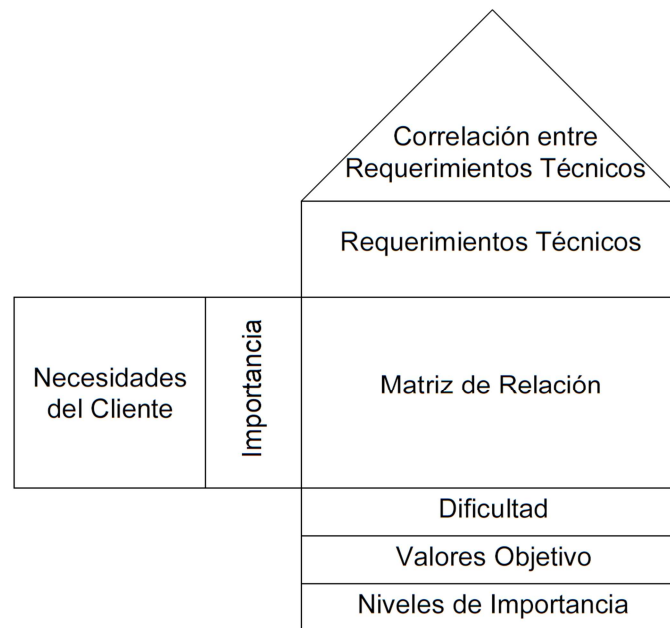


Figura 4: Configuración típica de la Casa de la Calidad

Lo que se presenta es una configuración típica. Sin embargo, esta puede variar en base al producto o servicio en estudio y a los objetivos perseguidos.

Según Karsak et al., (2003), los elementos de la casa de la calidad pueden ser descritos de la siguiente forma:

Necesidades del cliente (¿Qué's?): También se les conoce como la voz del cliente, los atributos de los clientes, los requisitos del cliente o la calidad exigida. Como entrada inicial para la casa de la calidad, ponen de relieve las características del producto a las que deben prestarse atención. Las necesidades del cliente, por lo general son recogidas por grupos de discusión o entrevistas individuales, deben expresarse en las propias frases de los clientes.

Requerimientos técnicos (¿Cómo's?): También se conocen como los requisitos de diseño, las características del producto, atributos de ingeniería, características de ingeniería o características de calidad sustitutivas. También se pueden desarrollar utilizando el diagrama de afinidad y el diagrama del árbol. Ellos describen el producto en el idioma del ingeniero; por lo tanto, algunas veces se les llama la voz de la compañía. Se utilizan para determinar qué tan bien la empresa satisface las necesidades de los clientes. Las necesidades del cliente le dicen a la empresa “qué hacer”, mientras que los requerimientos técnicos del producto dicen “cómo hacerlo”.

Importancia: Dado que los datos del cliente por lo general contienen demasiadas necesidades para hacerles frente al mismo tiempo, estas deben ser calificadas. La empresa debe escoger la implementación de un beneficio u otro, y trabajar en las necesidades más importantes sin tener en cuenta las relativamente poco importantes. De esta manera, los clientes son encuestados de forma que evalúen cada “¿QUÉ?” usando escalas de 5, 7 o 9 puntos. Los grupos focales y entrevistas individuales no son apropiados, debido a la gran cantidad de personas a encuestar y el alto costo relacionado.

Respecto a esto, Zaïdi (1993), indica que también es necesario considerar los diferentes tipos de cliente, conocer sus necesidades y jerarquizar la importancia que cada uno de los clientes

tienen para la empresa, de forma que se pueda hacer una lista ponderada de las distintas necesidades considerando el peso de los clientes. Esta tarea es la más importante del método QFD.

Matriz de relación: La matriz de relación indica cuanto afecta cada requerimiento técnico del producto a cada necesidad del cliente. Las relaciones pueden presentarse en números o símbolos.

Correlación entre requerimientos técnicos: Esta es la matriz ubicada en la azotea de la casa de la calidad, se utiliza para especificar la afectación colateral que ocurre entre los diversos requerimientos técnicos del producto, proporcionando una base para calcular en qué medida el cambio de una característica afectará las funciones de otras características. Un cambio deseable en una característica puede resultar en un efecto negativo en otra característica. Esta correlación sirve para prever impactos ocasionados por decisiones de ingeniería y planificar mitigaciones oportunas.

Dificultad, valores objetivos y niveles de importancia: Aquí los resultados obtenidos de los pasos anteriores se utilizan para calcular un orden de rango final de los ¿Cómo's? o requisitos técnicos. Algunas métricas adicionales de diseño tales como la dificultad, los valores objetivos, el coste, la constructibilidad, etc., también se pueden incorporar en el análisis en este paso. Estas métricas ayudan en la determinación de las prioridades y las direcciones de mejora, así como también proporcionan un medio objetivo para asegurar que se cumplen los requisitos.

2.1.5. INDEPENDENCIA DE LOS “QUÉ’S”

Para un correcto uso de QFD es necesario tener un cuidado especial en la definición de los “Que’s” de la matriz de calidad, de forma que estos sean totalmente independientes entre sí. Lo anterior es necesario debido a que estos elementos y su nivel de importancia asignado servirán para evaluar los “Cómo’s”. Por lo que dos elementos “Qué’s” dependientes entre sí, duplican la puntuación de los elementos “Cómo’s” que afecten.

Es importante recordar que en muchos casos los “Cómo’s” de una Casa de Calidad se convertirán en los “Qué’s” de la Casa de Calidad siguiente. En estos casos es necesario que tanto los “Qué’s” como los “Cómo’s” sean definidos de forma que se asegure su independencia, de esta forma se evitan problemas en los pasos siguientes. Para esto debe tenerse clara el esquema del despliegue de calidad que se utilizará en la investigación.

2.1.6. RECOMENDACIONES

A pesar de su simplicidad, la implementación de QFD puede complicarse en el caso de algunas aplicaciones. A continuación, se presentan recomendaciones importantes para la efectiva confección y el apropiado uso de la herramienta:

- ✓ Se debe identificar y conocer bien a los clientes. Tanto a los clientes actuales, como también y sobre todo a los clientes potenciales para los cuales se pretende desarrollar el producto. Hay que ir más allá de la segmentación del mercado, se trata de conocer a los clientes, sus profesiones, sus costumbres laborales, sus prácticas habituales, sus limitaciones, la evolución de su entorno, lo que quieren hacer y adonde quieren llegar. (Zaïdi, 1993)

- ✓ Utilizar las palabras exactas de los clientes. Existe entre los técnicos una tendencia a traducir el lenguaje del cliente a su propia jerga. En este proceso corren el riesgo de introducir conceptos técnicos que no necesariamente reflejan las necesidades o deseos de los clientes. (Yacuzzi & Martín, 2016)
- ✓ Involucrar a gente de diversos sectores, coordinadas por un facilitador. La matriz de la calidad facilita la comunicación interfuncional. Por lo tanto, es conveniente aprovechar esta ventaja incluyendo en la construcción de la matriz a gente de diversos sectores, selectivamente (es recomendable que el equipo no supere las 10 personas). Es fundamental designar a un facilitador con experiencia en el trabajo en equipo; no es imprescindible que éste sea un técnico. (Yacuzzi & Martín, 2016)
- ✓ Deben adoptarse medidas de rendimiento basadas en QFD para proporcionar un medio de motivación, retroalimentación del rendimiento y recompensas para los equipos de QFD. (Lockamy & Khurana, 2013)

2.1.7. DIFICULTADES

Según Gargione (1999), las principales dificultades que se pueden encontrar durante el desarrollo de la herramienta QFD, son las siguientes:

- ✓ Aumento sustancial del tiempo empleado por el equipo de gestión del proyecto en planificar y analizar los datos recopilados.
- ✓ Dificultades para trabajar con una matriz de gran tamaño. Es difícil procesar la información ingresada en la matriz QFD.
- ✓ Hacer que el equipo del proyecto reconozca que QFD es una herramienta poderosa y flexible para la construcción.

2.1.8. SUPUESTOS

Los principales supuestos que se deben asumir durante la implementación de QFD, son respecto a las necesidades del cliente, ya que este es el único dato de entrada que requiere la herramienta. A continuación, presenta una lista de los principales:

- ✓ Los resultados de las encuestas recogidas en el mercado son exactos.
- ✓ Las opiniones, necesidades y requisitos expresadas por el cliente son precisas.
- ✓ Las necesidades del cliente pueden ser documentadas y capturadas y siguen siendo estables durante el proceso entero.

2.1.9. APLICACIONES DE QFD EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

QFD continúa inspirando gran interés a nivel mundial, cada vez se estudian más posibilidades de aplicación, esto ha favorecido el refinamiento de la metodología y su extensión hacia cada vez más industrias y negocios. En el sector de la construcción se han desarrollado múltiples aplicaciones, de las cuales a continuación se hace un recuento:

- ✓ En el Reino Unido, se utilizó QFD para mejorar el desempeño de una Asociación de Viviendas, determinaron que QFD es un mecanismo útil para desarrollar una estrategia de cambio operacional, control y mejora basado en la evidencia. Resaltan que si se utiliza de la manera correcta necesariamente generará un impacto positivo en la empresa. (Kassela, Papalex, & Bamford, 2017)
- ✓ En Irán, se utilizó QFD para traducir e incorporar los valores del usuario para aplicaciones arquitectónicas en el diseño de la vivienda. Los resultados de la

investigación indican que a pesar de que la participación del usuario es indirecta, el método es eficaz y beneficioso tanto para usuarios como para diseñadores. Se logró mitigar la probabilidad de perder las expectativas del usuario, mejorar la comunicación y el trabajo en equipo y reducir la duración del proyecto y sus costos. (Moghimi, Jusan, Izadpanahi, & Mahdinejad, 2017).

- ✓ En Suecia, se utilizó QFD para la investigación y el desarrollo de un sistema de construcción de viviendas de producción industrial mediante el uso de marcos de madera, el estudio se basa en el proceso de diseño considerando los requisitos del cliente. (Stehn & Bergstro, 2002)
- ✓ Yang et al. (2003), integró QFD con la lógica de conjuntos difusos para la identificación de entradas de diseño imprecisas y perfeccionar el análisis de la información de diseño, con lo cual proporcionar un método sistemático y estructurado para apoyar la toma de decisiones durante el proceso de diseño de una edificación, el objetivo principal del estudio es favorecer la constructibilidad del edificio.
- ✓ Singhaputtangkul, Low, Teo, & Hwang (2013), mediante el uso de QFD combinado con la lógica de conjuntos difusos y el sistema de gestión del conocimiento (KMS) desarrollaron un sistema de soporte de decisiones para facilitar los procesos de toma de decisiones de un equipo de diseño y mejorar la calidad de las soluciones de diseño de envolventes de edificios.
- ✓ Gargione, (1999), aplicó QFD en proyectos inmobiliarios brasileños administrados y desarrollados por pequeñas empresas generalmente operadas por sus propietarios.
- ✓ Wikberg, Ekholm, & Jensen, (2010), utilizó QFD para estructurar el proceso de diseño de un edificio de viviendas, diseñar específicamente los niveles de decisión y su dependencia respectiva usando objetos arquitectónicos como interfaz de diseño.

2.2. MODELO KANO

El modelo Kano es una teoría desarrollada en los años 80 por el profesor Noriaki Kano, la cual clasifica los requisitos de calidad de un producto en diferentes categorías de acuerdo con el nivel de importancia que estos tienen para los clientes.

2.2.1. CATEGORÍAS PRINCIPALES

El modelo Kano distingue seis tipos de requisitos de calidad de un producto, de los cuales tres, cuando se cumplen, tienen influencia en la satisfacción del cliente, los cuales según Matzler & Hinterhuber (1998), pueden ser descritos tal y como se presenta a continuación:

⇒ **REQUISITOS OBLIGATORIOS**

Los requisitos obligatorios son criterios básicos de un producto. Si estos requisitos no se cumplen, el cliente estará extremadamente insatisfecho. Por otro lado, como el cliente da por sentado estos requisitos, su cumplimiento no aumentará su satisfacción.

El cumplimiento de los requisitos obligatorios solo llevará a un estado de "no insatisfecho". El cliente considera que estos requisitos son fundamentales; los da por sentado y, por lo tanto, no los exige explícitamente. Los requisitos obligatorios no son factores que deciden la competitividad, si no se cumplen, el cliente no estará interesado en absoluto en el producto.

⇒ **REQUISITOS UNIDIMENSIONALES**

Con respecto a estos requisitos, la satisfacción del cliente es proporcional al nivel de cumplimiento: cuanto mayor sea el nivel de cumplimiento, mayor será la satisfacción del cliente y viceversa. Los requisitos unidimensionales suelen ser explícitamente exigidos por el cliente.

⇒ **REQUISITOS ATRACTIVOS**

Estos requisitos son los criterios del producto que tienen la mayor influencia sobre la satisfacción del cliente respecto a un producto determinado. Los requisitos atractivos no son expresados ni esperados explícitamente por el cliente. El cumplimiento de estos requisitos conduce a una satisfacción superlineal. Si no se cumplen, sin embargo, no hay sensación de insatisfacción. Los elementos de productos o servicios que superan las expectativas de los clientes y se clasifican como requisitos atractivos mejoran el valor percibido de los clientes y su satisfacción.

2.2.2. VENTAJAS DE UTILIZAR EL MODELO KANO

De acuerdo con Matzler & Hinterhuber (1998), las principales ventajas de utilizar el modelo Kano, para clasificar los requisitos del cliente son los siguientes:

- ✓ El modelo Kano se puede combinar con el método QFD complementarlo. Ya que permite la clasificación de los requisitos del cliente, con lo que se puede procesar cada categoría de forma diferente. Esto evita interferencias entre requisitos que buscan distintos objetivos.
- ✓ Los requisitos del producto se entienden mejor. Se pueden identificar los criterios del producto que tienen la mayor influencia en la satisfacción del cliente. La clasificación de los requisitos del producto puede utilizarse para centrar el desarrollo del producto en las prioridades del cliente.
- ✓ El modelo Kano proporciona una valiosa ayuda en situaciones de compensación en la etapa de desarrollo del producto. Si dos requisitos del producto no pueden cumplirse simultáneamente debido a razones técnicas o financieras, se puede identificar el criterio que tiene la mayor influencia en la satisfacción del cliente.
- ✓ Los requisitos obligatorios, unidimensionales y atractivos difieren, por regla general, en las expectativas de utilidad de los diferentes segmentos de clientes. Desde este punto de partida, se pueden elaborar soluciones a medida del cliente para problemas especiales, lo que garantiza un nivel óptimo de satisfacción en los diferentes segmentos de clientes.
- ✓ Descubrir y cumplir con requisitos atractivos crea una amplia gama de posibilidades para la diferenciación. Un producto que simplemente satisface los requisitos obligatorios y unidimensionales se percibe como promedio y, por lo tanto, intercambiable.

3. METODOLOGÍA DESARROLLADA

Una vivienda se conforma por una gran cantidad de elementos, que van desde los cimientos hasta las ventanas o la pintura. Mientras que algunos elementos son indispensables y por tanto tienen máximo nivel de importancia, otros no podrían calificarse como indispensables y tienen diversos niveles de importancia. Una vivienda sostenible se realiza mediante un análisis integral de todas las posibles características que podría tener la vivienda, este análisis es lo primero que debe hacerse, antes de iniciar con la etapa de diseños constructivos. Este procedimiento facilita la labor de innovar, lo cual permite lograr un diseño sostenible.

En este capítulo se diseña una metodología que permita el diseño sostenible de una vivienda de bien social. La metodología debe enfocarse en seleccionar las características de ingeniería que más satisfacción causan al propietario y que aumentan el valor de la vivienda. Dicha labor puede desarrollarse mediante el uso del Despliegue de Funciones de Calidad (QFD), esta herramienta tiene la ventaja de que permite la manipulación simultánea de una gran variedad de posibles características, lo cual es muy útil para el caso de una vivienda.

Debido a que las características de una vivienda son muchas y estas a su vez son tan diversas, se considera apropiado clasificar sus características de acuerdo con el efecto que producen en la satisfacción del propietario de la vivienda. De esta forma es posible someter a un tratamiento distinto cada característica de vivienda. Esto evita problemas respecto al uso de QFD, ya que no es conveniente dar el mismo trato a características que persiguen objetivos distintos. Para realizar dicha clasificación se utiliza el Modelo Kano, ya que se considera que utiliza categorías apropiadas, tanto para llevar a cabo la labor de clasificación, como para permitir el funcionamiento de QFD.

A continuación, se describen las etapas que conforman la metodología diseñada para la investigación:

⇒ *ETAPA 1: DEFINICIÓN DE LAS NECESIDADES DEL PROPIETARIO.*

La metodología QFD propone una filosofía de máxima satisfacción del cliente, el cual en este caso es el propietario de la vivienda. Lo primero que se hace es identificar al propietario en cuanto a características de interés para la investigación. Conociéndolo, se identifican las necesidades principales que el propietario desea satisfacer por medio de la vivienda. Estas necesidades se analizan y se clasifican por medio del modelo Kano, posteriormente se determina su nivel de importancia relativo.

Es destacable la gran importancia de esta etapa, ya que las necesidades del propietario representan el principal insumo con el que trabaja QFD. Una definición inapropiada de las necesidades del propietario causa el despliegue de elementos de calidad inapropiados y por tanto un diseño incorrecto.

La etapa 1 de la metodología se desarrolla en el capítulo 4.

⇒ *ETAPA 2: DESPLIEGUE DE CALIDAD A PARTIR DE LAS NECESIDADES DEL PROPIETARIO.*

En esta etapa, se traducen las necesidades del propietario a componentes funcionales, criterios de diseño y materiales de construcción, mediante el uso del despliegue de funciones de calidad. Acorde con la clasificación asignada a cada necesidad del propietario, se utiliza una

metodología diferente para realizar el despliegue de calidad. Las conclusiones obtenidas en esta etapa corresponden a los elementos de básicos a partir de los cuales se diseña la vivienda.

Debido a que la satisfacción de las necesidades obligatorias no es opcional, el tratamiento de estas necesidades se enfoca en la determinación de los criterios de diseño y los materiales de construcción que permiten la minimización de los costos económicos.

Las necesidades unidimensionales permiten un aumento en la satisfacción del propietario directamente proporcional a su cumplimiento. Por lo tanto, el despliegue de calidad debe enfocarse en identificar los componentes funcionales y los materiales de construcción que logran la mayor satisfacción de las necesidades unidimensionales.

La ausencia de elementos que satisfagan las necesidades atractivas no afecta negativamente la aceptación de la vivienda por parte del propietario. Por lo tanto, debido a la limitante económica del proyecto, las necesidades atractivas que se consideran son a costo cero. De forma que se priorice la inversión de recursos en los elementos que satisfacen las necesidades obligatorias y unidimensionales. El despliegue de calidad de las necesidades atractivas se basa en su descomposición en elementos de calidad y criterios de diseño que logren la satisfacción de las necesidades atractivas consideradas.

La etapa 2 de la metodología se desarrolla en el capítulo 5.

⇒ *ETAPA 3: DISEÑO DE LA VIVIENDA Y ANÁLISIS PRESUPUESTARIO.*

En esta etapa, se obtiene el diseño final de la vivienda. A partir de los componentes funcionales, los criterios de diseño y los materiales de construcción, que de acuerdo con los resultados de la etapa anterior deben considerarse en el proyecto.

Lo primero que se hace es realizar un diseño preliminar de la vivienda, el cual debe satisfacer todas las necesidades obligatorias del propietario. Los elementos de calidad y los criterios de diseño obtenidos a partir del despliegue de las necesidades atractivas se integran en el diseño de la vivienda. Respecto a los componentes funcionales obtenidos a partir del despliegue de calidad de las necesidades unidimensionales, se incluyen en el diseño los que tienen una mayor importancia para la satisfacción del propietario de la vivienda.

Posteriormente, se calculan los costos económicos que representa la construcción de cada uno de los elementos de la vivienda y se procede a la selección de los que formarán parte del diseño definitivo. Los elementos que satisfacen las necesidades obligatorias deben formar parte del proyecto, por lo que su costo económico se descuenta del total disponible.

Para la determinación de los componentes funcionales obtenidos del despliegue de calidad de las necesidades unidimensionales, que formarán parte del diseño definitivo, es necesario realizar un análisis del rendimiento económico que cada uno de estos componentes tiene, para lograr la satisfacción del propietario. Una vez realizado este análisis se seleccionan los componentes funcionales que logran un mayor rendimiento económico, hasta agotar los recursos disponibles.

La etapa 3 de la metodología se desarrolla en el capítulo 6.

Este procedimiento permite obtener el diseño final de la vivienda, a partir de un análisis que permite la selección objetiva de cada uno de los elementos que la conforman. La figura 5, ilustra la metodología diseñada para el desarrollo de la investigación.

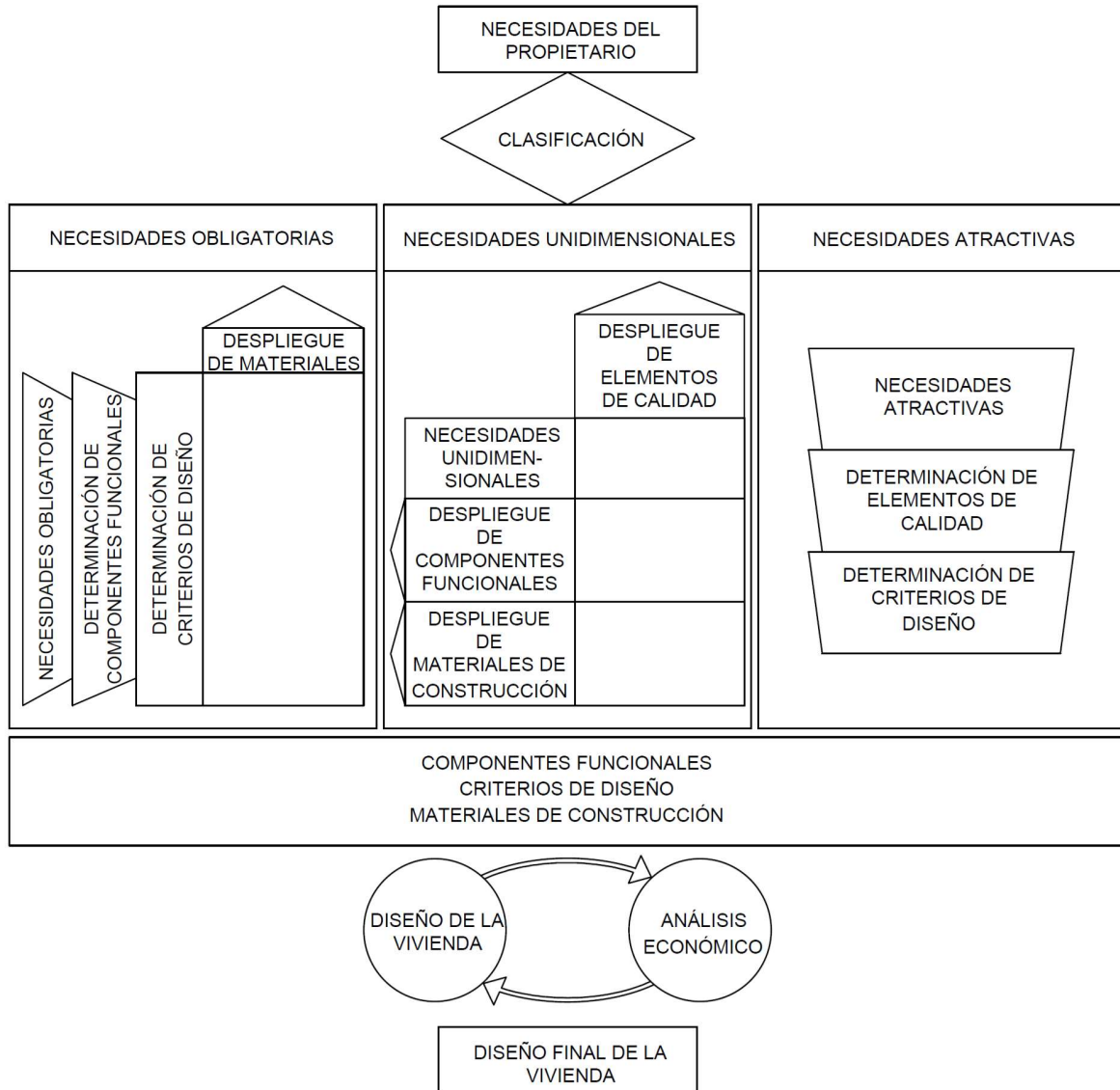


Figura 5: Metodología a usar

4. ETAPA 1: DEFINICIÓN DE LAS NECESIDADES

En este capítulo se estudia al cliente, que en este caso es el propietario de la vivienda. En la sección 4.1 se hace una descripción general del propietario de la vivienda. A partir de ahí, en la sección 4.2 se determinan las necesidades del propietario que buscan satisfacerse por medio de la vivienda. En la sección 4.3 se analizan las necesidades del propietario, las cuales se clasifican en las categorías que distingue el modelo Kano, posteriormente se determina su nivel de importancia relativo.

Los posibles propietarios de la vivienda tienen características y necesidades que varían enormemente. Sin embargo, existen características típicas que pueden considerarse como generalizadas. El reducido presupuesto económico del que se dispone reduce la cantidad de características que el propietario solicita, ya que las reduce a lo más básico y económicamente factible.

4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROPIETARIO

El propietario las viviendas hacia las que se dirige esta investigación, corresponde a una familia que cumpla con los requisitos para beneficiarse del Bono de Vivienda Familiar. En base a esto, algunas de sus características más generales son las siguientes:

- ✓ Es una familia de escasos recursos económicos.
- ✓ Es una familia que no cuenta con una vivienda propia.
- ✓ Es una familia con al menos un hijo.
- ✓ Es una familia que cuenta con un terreno propio, donde está dispuesta a vivir.

Otras características que comúnmente tienen son las siguientes:

- ✓ Es una familia joven.
- ✓ Es una familia que tiende a tener más hijos.
- ✓ El cabeza de familia no cuenta con estudios universitarios.
- ✓ El cabeza de familia no goza de estabilidad laboral.
- ✓ Es una familia que no tiene automóvil propio.
- ✓ Es una familia que desarrolla la mayor parte de sus actividades diarias dentro de su vivienda.
- ✓ Es una familia que no cuenta con recursos adicionales a los del Bono Familiar de Vivienda, para invertir en la construcción de su vivienda.

De acuerdo con las características mencionadas anteriormente, se determina que estas familias tienen los siguientes intereses:

- ✓ Minimización de gastos fijos.
- ✓ Comodidad.
- ✓ Bienestar.
- ✓ Seguridad.
- ✓ Superación.

Respecto al terreno con el que cuentan para la construcción de la vivienda, debe presentar las siguientes características:

- ✓ El sitio donde se ubica el terreno no presenta vulnerabilidad ante inundaciones, ni derrumbes o deslizamientos.
- ✓ El terreno es apto para la construcción de la vivienda y no requiere de ninguna obra de adecuación para el inicio del proyecto de construcción.
- ✓ El terreno cuenta con disponibilidad de servicios básicos, que cumplen con los requisitos mínimos de calidad.

Además, comúnmente presenta las siguientes características:

- ✓ El terreno se encuentra en una zona ubicada en las afueras del centro urbano más cercano.
- ✓ El camino que da acceso directo a la vivienda es de lastre y en ocasiones presenta una condición de regular a mala.
- ✓ El terreno es pequeño, generalmente con dimensiones del fondo de aproximadamente 3 veces la dimensión del frente.

4.2. DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL PROPIETARIO

Una vez se conoce al propietario de la vivienda, así como sus características e intereses generales, se determinan sus necesidades, las cuales son el principal insumo para el uso de QFD. Esta información puede obtenerse de distintas fuentes como encuestas, entrevistas, grupos focales, observación, entre otras.

En esta investigación, las necesidades del propietario se determinan a partir de la opinión experta del autor, considerando la literatura disponible sobre esta materia (Arnold, 2009) y (Sepúlveda, 1986). Las necesidades del propietario deben definirse de forma que no se confundan con objetos físicos, con lo que se obtiene una lista de necesidades más apropiada y representativa posible. Las necesidades del propietario de la vivienda son las siguientes:

- ✓ Confort acústico.
- ✓ Confort térmico.
- ✓ Cuenta con aposentos básicos.
- ✓ Cuenta con equipamiento básico.
- ✓ Cuenta con servicios básicos.
- ✓ Eficiencia eléctrica.
- ✓ Excelencia estética.
- ✓ Fácil movilidad interna.
- ✓ Proteger del entorno externo.
- ✓ Reducir costos de futuras ampliaciones.
- ✓ Reducir gastos de mantenimiento.
- ✓ Resistencia a la humedad.
- ✓ Segura estructuralmente.
- ✓ Seguridad contra robos.
- ✓ Suficiente iluminación interna.
- ✓ Utilidad de los espacios exteriores.

4.3. ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DEL PROPIETARIO

Cada necesidad debe ser tratada de forma diferente, dependiendo de su función y su nivel de importancia. En esta sección las necesidades del propietario se clasifican en las distintas

categorías del Modelo Kano y posteriormente se determinan sus niveles de importancia en base a la categoría asignada.

Para realizar la clasificación, se analiza el tipo de función que cada una de las necesidades del propietario cumple, de esta forma se puede dar un trato diferente a las necesidades obligatorias, a las unidimensionales y a las atractivas. Este trato diferenciado impide caer en el error de despreciar elementos vitales del proyecto e identificar la reacción del propietario ante la satisfacción de cada una de las necesidades. A continuación, se analiza cada necesidad del propietario y se determina su categoría, de acuerdo con el Modelo Kano:

- ✓ Confort acústico: Entre más confort acústico logre la vivienda, mayor será la satisfacción del propietario respecto a dicha necesidad. Por lo tanto, se trata de una necesidad **unidimensional**.
- ✓ Confort térmico: Entre más confort térmico logre la vivienda, mayor será la satisfacción del propietario respecto a dicha necesidad. Por lo tanto, se trata de una necesidad **unidimensional**.
- ✓ Cuenta con aposentos básicos: Los aposentos básicos con los que debe contar la vivienda han sido establecidos por la legislación que regula las construcciones financiadas por un Bono Familiar de Vivienda. Por lo tanto, se trata de una necesidad **obligatoria**.
- ✓ Cuenta con equipamiento básico: El equipamiento básico se refiere al inodoro, lavamanos, fregadero y encimera de la cocina, estos muebles son indispensables para el desarrollo de las actividades diarias y para la salud humana. Por lo tanto, se trata de una necesidad **obligatoria**.
- ✓ Cuenta con servicios básicos: Los servicios básicos son electricidad y agua potable, además de la evacuación de aguas potables que se requiere para completar el ciclo de uso del agua, son indispensables para el desarrollo de las actividades diarias en la sociedad actual. Por lo tanto, se trata de una necesidad **obligatoria**.
- ✓ Eficiencia eléctrica: Entre más eficiencia eléctrica logre la vivienda, mayor será la satisfacción del propietario respecto a dicha necesidad. Por lo tanto, se trata de una necesidad **unidimensional**.
- ✓ Excelencia estética: Entre más excelencia estética logre la vivienda, mayor será la satisfacción del propietario respecto a dicha necesidad. Por lo tanto, se trata de una necesidad **unidimensional**.
- ✓ Fácil movilidad interna: Esta necesidad comúnmente no es reconocida por los propietarios de la vivienda, a pesar de que su cumplimiento significa un gran beneficio para el propietario. Por lo tanto, se trata de una necesidad **atractiva**.
- ✓ Proteger del entorno externo: Podría considerarse la necesidad más básica y fundamental de una vivienda. Por lo tanto, se trata de una necesidad **obligatoria**.
- ✓ Reducir costos de futuras ampliaciones: El presupuesto de un Bono Familiar de Vivienda normalmente no es suficiente para satisfacer todas las necesidades de espacio

de las familias y es común que se realicen ampliaciones a corto o mediano plazo. Las necesidades del propietario comúnmente se limitan a todo lo concerniente a la obra inicial, las posibilidades de ampliación de la vivienda se postergan para el futuro, lo mismo que su planificación. Reducir los costos de las futuras ampliaciones es una necesidad que el propietario no reconoce a pesar del beneficio que significa. Por lo tanto, se trata de una necesidad **atractiva**.

- ✓ Reducir gastos de mantenimiento: Entre menos gastos de mantenimiento tenga la vivienda mayor será la satisfacción del propietario. Por lo tanto, es una necesidad **unidimensional**.
- ✓ Resistencia a la humedad: Entre más resistente sea la vivienda a la humedad mayor será la satisfacción del propietario. Por lo tanto, es una necesidad **unidimensional**.
- ✓ Segura estructuralmente: Una vivienda no puede ser insegura estructuralmente, principalmente por que se expone la vida humana, pero también por que existen reglamentos que determinan la resistencia para la que debe diseñarse una vivienda. Por lo tanto, es una necesidad **obligatoria**.
- ✓ Seguridad contra robos: Entre mayor segura contra robos sea la vivienda mayor será la satisfacción del propietario. Por lo tanto, es una necesidad **unidimensional**.
- ✓ Suficiente iluminación interna: Entre mejor sea la iluminación interna mayor será la satisfacción del propietario. Por lo tanto, es una necesidad **unidimensional**.
- ✓ Utilidad de los espacios exteriores: Los espacios exteriores normalmente no se consideran en viviendas de este tipo. La utilidad de los espacios exteriores es una necesidad de la cual el propietario es consciente, sí no la toma en cuenta es por la limitación económica y por el menor nivel de importancia que tiene respecto a otras necesidades. Sin embargo, entre mayor sea la utilidad de los espacios exteriores mayor será la satisfacción del cliente. Por lo tanto, es una necesidad **unidimensional**.

En base a la categoría asignada a cada una de las necesidades del propietario, se determina su nivel de importancia. El nivel de importancia es uno de los insumos que mayor influencia tiene en los resultados del despliegue de calidad. En este caso los niveles de importancia son determinados por criterio experto y consulta bibliográfica (Arnold, 2009) y (Sepúlveda, 1986).

Se utiliza una escala del 1 al 10, donde el 10 indica el mayor nivel de importancia. Para establecer el nivel de importancia se utilizan los siguientes criterios:

- ✓ **Obligatorio**: Su nivel de importancia es máximo, se les asigna un 10. No se realiza una diferenciación entre los niveles de importancia de las distintas necesidades obligatorias, debido a que todas esas necesidades deben cumplirse para que el proyecto tenga posibilidades de éxito.
- ✓ **Unidimensional**: Su nivel de importancia es variable, la escala para estos es de 1 a 10. Para estas necesidades se asignan niveles de importancia muy variables, lo que permite el enfoque en las necesidades de mayor importancia.

- ✓ **Atractivo:** Su nivel de importancia es medio, la escala para estos es de 5 a 8. Estas necesidades, a pesar de su influencia en la satisfacción del propietario, no disminuyen el nivel de satisfacción si están ausentes. Se les asigna un nivel de importancia medio, ya que deben notarse, pero no deben significar un gasto económico importante.

En la tabla 2, se presentan las necesidades del propietario, su categoría según el modelo Kano y el nivel de importancia asignado a cada una de ellas.

Tabla 2: Necesidades del propietario

| Necesidades de propietario | Categoría | Importancia |
|--|----------------|-------------|
| Cuenta con aposentos básicos | Obligatorio | 10 |
| Cuenta con equipamiento básico | Obligatorio | 10 |
| Cuenta con servicios básicos | Obligatorio | 10 |
| Protección del entorno externo | Obligatorio | 10 |
| Segura estructuralmente | Obligatorio | 10 |
| Confort acústico | Unidimensional | 4 |
| Confort térmico | Unidimensional | 8 |
| Eficiencia eléctrica | Unidimensional | 8 |
| Excelencia estética | Unidimensional | 5 |
| Reducir gastos de mantenimiento | Unidimensional | 6 |
| Resistencia a la humedad | Unidimensional | 7 |
| Seguridad contra robos | Unidimensional | 7 |
| Suficiente iluminación interna | Unidimensional | 7 |
| Utilidad de los espacios exteriores | Unidimensional | 3 |
| Fácil movilidad interna | Atractivo | 6 |
| Reducir costos de futuras ampliaciones | Atractivo | 8 |

5. ETAPA 2: DESPLIEGUE DE CALIDAD

El despliegue de calidad determina las características que aportan mayor satisfacción al propietario. Cada una de las necesidades debe ser analizada de diferente forma, de acuerdo con la categoría del Modelo Kano que le ha sido asignada en el capítulo anterior. La categoría de la necesidad determina los objetivos a seguir por el despliegue de calidad y por tanto la metodología que debe seguirse.

5.1. DESPLIEGUE DE CALIDAD DE NECESIDADES OBLIGATORIAS

Las necesidades obligatorias han sido clasificadas como tales debido a que su cumplimiento no es opcional, ya sea por motivos reglamentarios o por que representan necesidades básicas fundamentales de la vida cotidiana. El propietario no percibe una mayor satisfacción cuanto más alto sea el nivel de cumplimiento de las necesidades obligatorias, sin embargo, su incumplimiento es causa de que el propietario quede totalmente insatisfecho respecto a la vivienda, por lo que lo importante es lograr el nivel mínimo requerido.

Debido a las limitantes económicas, se deben evitar los gastos que no generen un impacto directo en el nivel de satisfacción del propietario, por lo que no deben invertirse recursos adicionales a los mínimos requeridos para cumplir con cada una de las necesidades obligatorias. El despliegue de calidad debe enfocarse en lograr el cumplimiento de las necesidades obligatorias al menor costo posible, para lo cual se siguen los pasos mostrados en la figura 6.

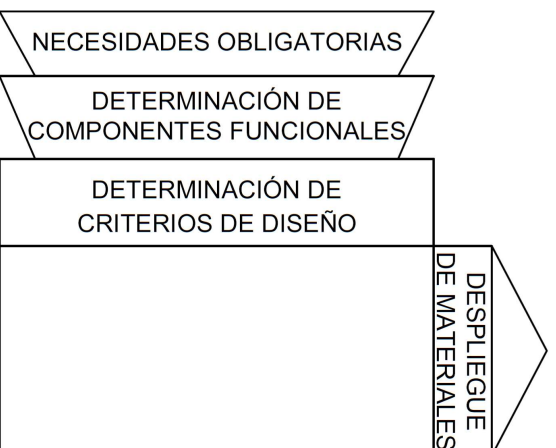


Figura 6: Metodología para el despliegue de las necesidades obligatorias

La metodología inicia a partir de las necesidades clasificadas como obligatorias, posteriormente se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Determinación de componentes funcionales.

Se determinan los componentes funcionales de la vivienda que logran satisfacer las necesidades obligatorias. Con esto se busca esclarecer los objetivos perseguidos por cada una de las necesidades obligatorias.

- ✓ Determinación de criterios de diseño.

Para los componentes funcionales se estudian los criterios de diseño que generan una reducción de los costos y se determina el nivel de importancia de cada una de ellas para lograr una reducción en los costos.

- ✓ Despliegue de materiales de construcción de la vivienda.

Para cada criterio de diseño se estudian los materiales de construcción disponibles en el mercado y se realiza el despliegue respecto a los criterios de diseño para determinar la opción más favorable.

5.1.1. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES FUNCIONALES

Los componentes funcionales necesarios para lograr el cumplimiento de las necesidades obligatorias son las siguientes:

⇒ ***CUENTE CON APOSENTOS BÁSICOS***

El INVU ha establecido los aposentos básicos obligatorios con los que debe contar toda vivienda construida por medio de un Bono Familiar de Vivienda. Debido a las limitaciones presupuestarias con las que se dispone, aposentos adicionales a los obligatorios se considerarán únicamente como posibilidades de ampliación. Los aposentos básicos obligatorios son los siguientes:

- ✓ 2 dormitorios
- ✓ Sala
- ✓ Cocina
- ✓ Baño
- ✓ Comedor
- ✓ Cuarto de pilas

⇒ ***CUENTE CON EQUIPAMIENTO BÁSICO***

Esta necesidad se refiere a los muebles fijos estrictamente necesarios de una vivienda, los cuales se requieren para el desarrollo de las actividades diarias de una familia. Los principales componentes de equipamiento son los siguientes:

- ✓ Inodoro
- ✓ Lavatorio
- ✓ Fregadero
- ✓ Encimera de la cocina
- ✓ Pila para lavar ropa

En el caso de la pila de lavar ropa, es importante destacar que este es un componente tradicional de la vivienda costarricense, el cual es de mucha utilidad especialmente para familias con bajos recursos económicos.

⇒ ***CUENTE CON SERVICIOS BÁSICOS***

Es necesario que la vivienda cuente con los servicios básicos para el desarrollo de las actividades cotidianas de la vida humana, estos servicios básicos son la electricidad y el agua potable, a lo que se suma la evacuación de las aguas residuales como elemento fundamental del ciclo del agua potable.

Para la instalación eléctrica se deben considerar los siguientes componentes:

- ✓ Acometida
- ✓ Caja de breakers
- ✓ Cableado y entubado
- ✓ Plafones, tomas e interruptores

Para la instalación de agua potable se deben considerar los siguientes componentes:

- ✓ Acometida
- ✓ Llave de paso
- ✓ Entubado
- ✓ Grifería

Para la evacuación de las aguas residuales se deben considerar los siguientes componentes:

- ✓ Tuberías
- ✓ Trampas de grasa
- ✓ Cajas de registro
- ✓ Sifones
- ✓ Tanque séptico
- ✓ Drenajes

⇒ ***PROTEGER DEL ENTORNO EXTERNO***

Los componentes estrictamente necesarios para proteger el interior de la vivienda del entorno externo son los que forman parte de la envolvente. Los componentes de la envolvente son los siguientes:

- ✓ Paredes
- ✓ Techo
- ✓ Contrapiso

⇒ ***SEGURA ESTRUCTURALMENTE***

Los componentes estructurales de la vivienda son aquellos estrictamente necesarios para asegurar la integridad estructural. Su principal función consiste en trasladar las cargas desde la parte superior de la estructura hasta el suelo, debe ser capaz de mantener su integridad ante eventos sísmicos y la acción de vientos extremos. Los siguientes son los componentes estructurales básicos de una vivienda:

- ✓ Suelo soportante
- ✓ Cimentación
- ✓ Columnas o muros de soporte
- ✓ Vigas y viguetas

5.1.2. DETERMINACIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño deben ser totalmente independientes entre ellos, esto se logra analizando detalladamente cada idea de criterio de diseño y escogiendo aquellas que logran resumir varios

criterios en uno solo. Los criterios de diseño que logran minimizar los gastos necesarios para la implementación de los componentes de calidad son los siguientes:

⇒ ***APOSENTOS BÁSICOS***

Respecto a los aposentos básicos los criterios de diseño que logran minimizar los costos son los siguientes:

- ✓ Minimizar área de construcción
- ✓ Minimizar área de paredes

⇒ ***EQUIPAMIENTO BÁSICO***

Respecto al equipamiento básico los criterios de diseño que logran minimizar los costos son los siguientes:

- ✓ Rapidez de instalación

⇒ ***SERVICIOS BÁSICOS***

Respecto a los servicios básicos los criterios de diseño que logran minimizar los costos son los siguientes:

- ✓ Poca longitud de las instalaciones

⇒ ***ENVOLVENTE***

Respecto a las paredes, techos y contrapiso, los criterios que logran minimizar los costos son los siguientes:

- ✓ Universalidad de los materiales
- ✓ Economía del material bruto
- ✓ Facilidad de transporte y descarga
- ✓ Rapidez de construcción
- ✓ Poco desperdicio de materiales

⇒ ***ESTRUCTURAS***

Respecto a los componentes necesarios para la seguridad estructural, los criterios que logran minimizar los costos son los siguientes:

- ✓ Universalidad de los materiales
- ✓ Economía del material bruto
- ✓ Facilidad de transporte y descarga
- ✓ Rapidez de construcción
- ✓ Poco desperdicio de materiales

5.1.3. DESPLIEGUE DE MATERIALES

Los criterios de diseño relacionados con la implementación de los componentes que satisfacen las necesidades de contar con aposentos básicos, con equipamiento básico y con servicios básicos, se refieren a tareas de diseño y no a materiales. Estos materiales deben ser definidos

por medio de un diseño de ingeniería basado en los criterios de diseño de la vivienda, por lo que no es útil hacer un despliegue de materiales.

Es necesario realizar el despliegue de los materiales necesarios para la envolvente y la estructura de la vivienda. Para lo cual, se debe determinar el nivel de importancia que cada criterio de diseño tiene para lograr la minimización de los costos, seguidamente se identifican distintos materiales que podrían utilizarse y finalmente se realiza el despliegue de materiales. Mediante este procedimiento se determina cuáles son los materiales que mejor cumplen los criterios de diseño que logran minimizar los costos.

A continuación, se determina el nivel de importancia de cada criterio de diseño, se usa una escala del 1 al 4 donde el 4 representa una mayor importancia:

- ✓ Universalidad de los materiales: Considera la facilidad para encontrar materiales estándares, es decir con las mismas características de calidad y diseño. Se intenta evitar sobrecostos relacionados a materiales que sean difíciles de encontrar. **Nivel de importancia 2.**
- ✓ Economía del material bruto: Representa uno de los principales costos relacionados con el tipo de material. **Nivel de importancia 4.**
- ✓ Facilidad de transporte y descarga: Todo material debe ser llevado hasta el sitio de la obra y debe ser descargado, esto significa un costo económico que debe considerarse. **Nivel de importancia 2.**
- ✓ Rapidez de construcción: La mano de obra representa otro de los principales costos del proyecto, la rapidez de la construcción depende del tipo de material usado. **Nivel de importancia 3.**
- ✓ Poco desperdicio de materiales: En todo proyecto de ingeniería hay desperdicio de materiales, este material tiene el mismo costo que el efectivamente usado, por lo que la posibilidad de reducirlo significa un ahorro económico. **Nivel de importancia 1.**

Los materiales que pueden utilizarse para cada componente de calidad son los siguientes:

⇒ ***PAREDES***

- ✓ Bloques de hormigón
- ✓ Baldosas prefabricadas
- ✓ Paredes livianas
- ✓ Paredes de madera

⇒ ***TECHO***

- ✓ Láminas de hierro galvanizado
- ✓ Tejas de barro
- ✓ Tejas asfálticas
- ✓ Hormigón

⇒ ***CONTRAPISO***

- ✓ Hormigón

✓ Madera

⇒ ***SUELO SOPORTANTE***

✓ Material granular

⇒ ***CIMENTACIÓN***

✓ Hormigón

⇒ ***COLUMNAS O MUROS DE SOPORTE***

✓ Hormigón

✓ Hormigón prefabricado

✓ Acero

✓ Madera

⇒ ***VIGAS Y VIGUETAS***

✓ Hormigón

✓ Hormigón prefabricado

✓ Acero

✓ Madera

El despliegue de materiales se muestra en la figura 7, de la cual se obtienen las siguientes conclusiones:

⇒ ***PAREDES***

Las paredes livianas con las que logran el mayor nivel de cumplimiento. Además, se observa que cumplen bastante bien con todos los criterios de diseño.

⇒ ***TECHO***

Las láminas de hierro galvanizado alcanzan un nivel de cumplimiento muy superior a la del resto de los materiales considerado. Se observa que cumple a la perfección con todos los criterios de diseño.

⇒ ***CONTRAPISO***

El contrapiso de hormigón es el material que alcanza mayor nivel de cumplimiento de los criterios de diseño por sobre el contrapiso de madera.

⇒ ***SUELO SOPORTANTE***

Para el suelo soportante el único material considerado es el material granular (lastre), el cual no fue evaluado en la matriz de calidad debido a que no existe otra posibilidad de material.

⇒ ***CIMENTACIÓN***

Para las placas corridas el único material considerado es el hormigón, el cual no fue evaluado en la matriz de calidad debido a que es el único material que se encuentra dentro de las posibilidades.

| Nivel de importancia | Criterios de diseño | | Calificación final |
|----------------------|------------------------------------|--|--------------------|
| | Economía del material bruto | Material de construcción | |
| 4.0 | Economía del material bruto | Paredes de bloques de concreto | 350,0 |
| 3.0 | Rapidez de construcción | Paredes de baldosas prefabricadas | 433,3 |
| 2.0 | Universalidad de los materiales | Paredes livianas | 650,0 |
| 1.0 | Poco desperdicio de materiales | Paredes de madera | 166,7 |
| 2.0 | Facilidad de transporte y descarga | Techo de láminas de hierro galvanizado | 900,0 |
| | | Techo de tejas de barro | 266,7 |
| | | Techo de tejas asfálticas | 333,3 |
| | | Techo de losa de concreto | 350,0 |
| | | Contrapiso de concreto reforzado | 350,0 |
| | | Contrapiso de madera | 166,7 |
| | | Columnas de concreto reforzado | 350,0 |
| | | Columnas de concreto reforzado prefabricadas | 566,7 |
| | | Columnas de acero | 700,0 |
| | | Columnas de madera | 383,3 |
| | | Vigas de concreto reforzado | 450,0 |
| | | Vigas de concreto reforzado prefabricadas | 566,7 |
| | | Vigas de acero | 700,0 |
| | | Vigas de madera | 383,3 |

Figura 7 : Matriz de calidad para el despliegue de materiales

Para realizar el despliegue de los materiales de construcción respecto a los criterios de diseño, se sigue el siguiente procedimiento:

1. En la parte izquierda se escriben los criterios de diseño y a su lado se indica el nivel de importancia que cada uno tiene.
2. En la parte superior se escriben los materiales a evaluar.
3. En la matriz de relación se evalúa el cumplimiento de los criterios de diseño que logra cada material, en caso de que exista un alto nivel de cumplimiento se utiliza el símbolo \odot , un nivel medio se identifica con el símbolo \circ , un bajo nivel de cumplimiento con el símbolo \blacktriangle .
4. Posteriormente, se determina la calificación final para cada uno de los materiales, para lo cual se otorgan valores a los niveles de cumplimiento (en este caso $\odot=9$, $\circ=3$ y $\blacktriangle=1$) y el valor de cumplimiento asignado se multiplica por el nivel de importancia del criterio de diseño correspondiente y se suman los puntajes obtenidos para cada material.

⇒ **COLUMNAS O MUROS DE SOPORTE**

El acero es el material que mayor nivel de cumplimiento de los criterios de diseño alcanza entre los materiales analizados. Se observa que cumple la mayor parte de los criterios de diseño a la perfección.

⇒ **VIGAS Y VIGUETAS**

El acero es el material que mejor cumple los criterios de diseño entre los materiales analizados para la construcción de las vigas. Se observa que cumple la mayor parte de los criterios de diseño a la perfección.

5.2. DESPLIEGUE DE CALIDAD DE NECESIDADES UNIDIMENSIONALES

Las necesidades unidimensionales pueden ser satisfechas por una gran variedad de elementos y entre mayor sea su nivel de cumplimiento mayor será la satisfacción del propietario. El despliegue de calidad debe enfocarse en optimizar el uso de los recursos económicos, de forma que las características de la vivienda logren el mayor nivel de cumplimiento de las necesidades unidimensionales, lo que aumenta la satisfacción del propietario y el valor de la vivienda. Para lograr dichos objetivos se siguen los pasos mostrados en la figura 8.

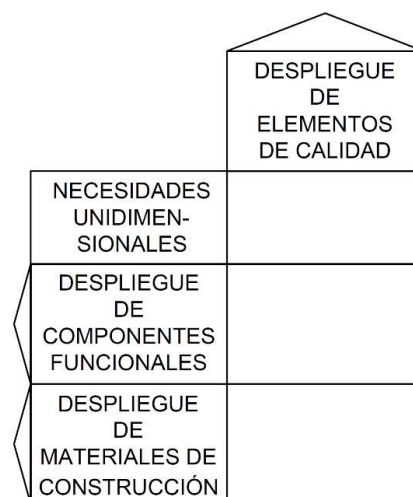


Figura 8: Despliegue de calidad de necesidades unidimensionales

La metodología inicia a partir de las necesidades clasificadas como unidimensionales, posteriormente se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Despliegue de elementos de calidad.

Se determinan los elementos de calidad que satisfacen las necesidades unidimensionales y se realiza su despliegue respecto a dichas necesidades, con lo que se identifica la relevancia de cada elemento de calidad en cuanto a su capacidad para aumentar la satisfacción del propietario.

- ✓ Despliegue de componentes funcionales de la vivienda.

Para cada elemento de calidad se estudian los componentes funcionales más importantes y se realiza su despliegue respecto a los elementos de calidad para identificar los componentes que logran un mayor nivel de satisfacción.

- ✓ Despliegue de materiales de construcción de la vivienda.

Para cada elemento de calidad se estudian los materiales de construcción disponibles en el mercado y se realiza su despliegue respecto a los elementos de calidad para identificar los materiales que logran un mayor nivel de satisfacción.

5.2.1. DESPLIEGUE DE ELEMENTOS DE CALIDAD

El despliegue de elementos de calidad busca traducir las necesidades unidimensionales del propietario a elementos de calidad por cumplir. Se debe identificar y analizar los elementos de calidad que satisfacen las necesidades unidimensionales. Debe evitarse la correlación entre los distintos elementos de calidad, con esto se evita el error de duplicar la importancia de las necesidades del propietario en los pasos posteriores. Además, debe procurarse que a cada necesidad unidimensional corresponda al menos un elemento de calidad que logre su satisfacción, de forma que toda necesidad pueda ser satisfecha. Los elementos de calidad identificados son los siguientes:

- ✓ Acabados estéticos: Todos los acabados estéticos de la vivienda, tanto los internos como los externos.
- ✓ Aislamiento acústico: Previene el ingreso de ruidos desde el exterior de la vivienda.
- ✓ Aislamiento térmico: Asegura el confort térmico en el interior de la vivienda, como en este estudio se considera un clima húmedo y caliente, la preocupación principal se concentra en controlar el calor extremo.
- ✓ Aseguramiento contra robos: Accesorios que impidan el ingreso de ladrones a la vivienda.
- ✓ Impermeabilidad: Paredes, techos y pisos que eviten el ingreso de agua al interior de la vivienda.
- ✓ Equipamiento externo: Se contemplan componentes que aumentan la utilidad de los espacios externos.
- ✓ Iluminación interna: Iluminación ya sea natural o artificial en los sitios donde se requiera dentro de la vivienda.
- ✓ Ventilación: Ingreso de aire desde el exterior de la vivienda, se desea que el aire pueda circular por toda la vivienda para favorecer la calidad del aire interno y el confort térmico.

Debido a que los recursos son limitados, no todos los elementos de calidad pueden ser cumplidos al máximo nivel, debe buscarse el mayor nivel de cumplimiento para los elementos de calidad que el propietario más valora, es decir los que mayor impacto causan en sus necesidades. Por lo tanto, es importante realizar el despliegue de los elementos de calidad respecto a las necesidades del propietario, de esta forma se identifican los elementos más deseados y se prioriza su cumplimiento. En la figura 9, se muestra la matriz de calidad construida para el despliegue de los elementos de calidad. De donde se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- ✓ El aislamiento térmico, la ventilación y la iluminación interna, son los elementos más importantes para maximizar la satisfacción de las necesidades del propietario.
- ✓ El equipamiento externo, el aislamiento acústico y los acabados estéticos son los elementos que menor importancia tienen para maximizar la satisfacción de las necesidades del propietario.

| Nivel de importancia | Elementos de calidad | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|-------------|
| | Necesidades unidimensionales | Acabados estéticos | Aislamiento acústico | Aislamiento térmico | Aseguramiento contra robos | Envolvente impermeable | Iluminación interna | Equipamiento externo | Ventilación |
| 4,0 | Confort acústico | | ⊖ | ▲ | | ▲ | | | |
| 8,0 | Confort térmico | | ▲ | ⊖ | | ▲ | | | ⊖ |
| 8,0 | Eficiencia eléctrica | | | ⊖ | | ▲ | ⊖ | | ⊖ |
| 5,0 | Excelencia estética | ⊖ | | | | | ▲ | ○ | |
| 6,0 | Reducir gastos de mantenimiento | | | ▲ | | ○ | | | |
| 7,0 | Resistencia a la humedad | | | | | ⊖ | | | |
| 7,0 | Seguridad contra robos | | | | ⊖ | | | | |
| 7,0 | Suficiente iluminación interna | | | | | ⊖ | | | |
| 3,0 | Utilidad de los espacios externos | | | | | | | ⊖ | |
| Calificación final | | 81,8 | 80,0 | 280,0 | 114,5 | 183,6 | 254,5 | 76,4 | 261,8 |

Figura 9: Despliegue de elementos unidimensionales de calidad

Para la construcción de la matriz de calidad para el despliegue de los elementos de calidad, se sigue el siguiente procedimiento:

1. En la parte izquierda de la matriz de calidad se escriben las necesidades unidimensionales y a su lado se indica el nivel de importancia que cada una tiene.
2. En la parte superior se escriben los elementos de calidad a evaluar.
3. En la matriz de relación se debe evaluar la influencia que tiene cada uno de los elementos de calidad en la maximización de la satisfacción de cada una de las necesidades unidimensionales, en caso de que exista una alta influencia se utiliza el símbolo ⊖, una influencia media se identifica con el símbolo ○, una baja influencia con el símbolo ▲, mientras que se deja en blanco cuando no hay influencia.
4. Posteriormente, se determina la calificación final para cada uno de los elementos de calidad, para lo cual se otorgan valores a los niveles de influencia (en este caso ⊖=9, ○=3 y ▲=1), el valor de influencia asignado se multiplica por el nivel de importancia de la necesidad unidimensional correspondientes y se suman los puntajes obtenidos para cada elemento de calidad.

5.2.2. DESPLIEGUE DE COMPONENTES FUNCIONALES

Los componentes funcionales son aquellos que buscan satisfacer los elementos de calidad, entre mejor funcionen estos componentes, mayor será la satisfacción del cliente y viceversa. Lo primero que se hace es identificar todos los componentes funcionales que favorecen el cumplimiento de cada una de las necesidades del propietario y posteriormente se realiza su despliegue respecto a los elementos de calidad. Es muy común que un solo componente funcional influya en varias necesidades a la vez.

El despliegue de componentes funcionales es importante por qué valora la importancia de cada componente funcional para lograr el cumplimiento de los elementos de calidad más importantes, cuyo nivel de importancia se deriva de la relevancia de las necesidades del propietario. Por lo tanto, el despliegue asegura la utilización de los deseos del propietario como principal y único factor de decisión para la selección de los componentes funcionales más importantes. Para satisfacer cada una las necesidades unidimensionales, se puede recurrir a la implementación de los siguientes componentes:

⇒ ***CONFORT ACÚSTICO***

Se logra aumentando la capacidad de la vivienda para evitar el ingreso excesivo de ruidos desde el exterior, esto puede lograrse mediante la manipulación de los siguientes componentes:

- ✓ Aislamiento acústico de las paredes
- ✓ Aislamiento acústico del techo
- ✓ Presencia de cielo raso en el interior
- ✓ Presencia de tapicheles internos
- ✓ Presencia de tapicheles externos
- ✓ Rejillas de ventilación

⇒ ***CONFORT TÉRMICO***

Capacidad de la vivienda de mantener una temperatura agradable en su interior, esto puede lograrse mediante la manipulación de los siguientes componentes:

- ✓ Aislamiento térmico en el techo
- ✓ Aislamiento térmico en las paredes
- ✓ Altura del cielo raso en el interior
- ✓ Longitud de los aleros
- ✓ Presencia de abanicos
- ✓ Presencia de cielo rasos en el interior
- ✓ Presencia de tapicheles externos
- ✓ Presencia de tapicheles internos
- ✓ Presencia de rejillas de ventilación

⇒ ***EFICIENCIA ELÉCTRICA***

Para lograr la eficiencia eléctrica de la vivienda se debe reducir la necesidad de electricidad para iluminación y confort térmico. Además, es necesario que la instalación eléctrica sea la apropiada. Sin embargo, esto último es un componente obligatorio que ya fue incluido en la sección anterior. Por lo tanto, los componentes que favorecen la eficiencia eléctrica son los siguientes:

- ✓ Altura del cielo raso en el interior
- ✓ Aislamiento térmico en las paredes
- ✓ Aislamiento térmico en el techo
- ✓ Presencia de rejillas de ventilación
- ✓ Presencia de tragaluz
- ✓ Puertas de vidrio

⇒ ***EXCELENCIA ESTÉTICA***

Los acabados determinarán la calidad estética en la vivienda, los principales componentes que inciden en la estética son los siguientes:

- ✓ Aceras perimetrales
- ✓ Altura de cielo raso en el interior
- ✓ Altura de cielo raso en los aleros
- ✓ Canoas y bajantes
- ✓ Estética de accesorios de la instalación eléctrica
- ✓ Estética de llavines de puertas internas
- ✓ Estética de llavines de puertas externas
- ✓ Estética de los muebles de baño
- ✓ Estética de los muebles de cocina
- ✓ Estética del piso
- ✓ Jardines
- ✓ Pintura de paredes internas
- ✓ Pintura de paredes externas
- ✓ Pintura de techo
- ✓ Presencia de cielo raso en el interior
- ✓ Presencia de cielo raso en los aleros
- ✓ Presencia de precintas
- ✓ Presencia de tapicheles internos
- ✓ Presencia de tapicheles externos
- ✓ Puertas de vidrio
- ✓ Textura de paredes
- ✓ Verjas en ventanas

⇒ ***REDUCIR GASTOS DE MANTENIMIENTO***

Para minimizar los gastos necesarios para mantener la vivienda en sus mismas condiciones iniciales, se deben considerar los siguientes componentes:

- ✓ Impermeabilización de paredes externas
- ✓ Impermeabilización de paredes del baño
- ✓ Pintura de paredes externas
- ✓ Pintura de paredes internas
- ✓ Pintura de techo

Además de los anteriores, para reducir los gastos de mantenimiento se deben realizar diseños apropiados para las instalaciones eléctricas, de aguas potables y de aguas residuales. Estos componentes pese a su importancia no se consideran en el listado anterior, debido a que su correcto funcionamiento es un componente obligatorio, el cual fue incluido en la sección anterior.

⇒ ***RESISTENCIA A LA HUMEDAD***

Se logra aumentando la capacidad de la envolvente para evitar el ingreso de agua a la vivienda desde el exterior, esto puede lograrse mediante la manipulación de los siguientes componentes:

- ✓ Aceras perimetrales
- ✓ Altura del nivel de piso
- ✓ Canoas y bajantes
- ✓ Impermeabilización de paredes externas
- ✓ Impermeabilización de paredes del baño
- ✓ Longitud de los aleros
- ✓ Rejillas de ventilación

⇒ ***SEGURIDAD CONTRA ROBOS***

Para lograr la seguridad contra robos se deben incluir elementos que dificulten el ingreso de ladrones a la vivienda, se destacan los siguientes componentes:

- ✓ Enchapes en paredes internas del baño
- ✓ Luminarias en el exterior
- ✓ Presencia de tapicheles externos
- ✓ Seguridad de llavines de en puertas externas
- ✓ Verjas en ventanas

⇒ ***SUFICIENTE ILUMINACIÓN INTERNA***

Los principales componentes que influyen en nivel de iluminación interna de la vivienda son los siguientes:

- ✓ Altura de cielo raso en los aleros
- ✓ Presencia de tragaluz
- ✓ Puertas de vidrio
- ✓ Rejillas de ventilación

⇒ ***UTILIDAD DE LOS ESPACIOS EXTERIORES***

Para la integración de los espacios exteriores con la vivienda, se deben implementar componentes cuya ubicación natural sea el exterior de la vivienda o componentes que aumenten la satisfacción del cliente, que por razones presupuestarias no puedan ubicarse en el interior, pero su ubicación en el exterior no limita su utilidad. Los componentes considerados para lograr la integración de los espacios exteriores son los siguientes:

- ✓ Aceras perimetrales
- ✓ Iluminación externa
- ✓ Jardines
- ✓ Longitud de los aleros

Las figuras 10 y 11, muestran el despliegue de calidad de los componentes que satisfacen las necesidades unidimensionales.

| Nivel de importancia | | Componentes funcionales | |
|----------------------|----------------------------|-------------------------|--|
| 81,8 | Acabados estéticos | ▲ | Luminarias en el exterior |
| 80,0 | Aislamiento acústico | ▲ | Longitud de los aleros |
| 280,0 | Aislamiento térmico | ⊙ | Pintura de paredes externas |
| 114,5 | Aseguramiento contra robos | ⊙ | Pintura de paredes internas |
| 183,6 | Impermeabilización | ⊙ | Pintura de techo |
| 254,5 | Iluminación interna | ⊙ | Presencia de abanicos |
| 76,4 | Equipamiento externo | ⊙ | Presencia de cielo raso en el interior |
| 261,8 | Ventilación | ⊙ | Presencia de cielo raso en los aleros |
| | Calificación final | 83,5 | 253,8 |
| | | 96,6 | 55,3 |
| | | 18,4 | 58,9 |
| | | 136,3 | 18,4 |
| | | 6,1 | 373,7 |
| | | 109,3 | 171,9 |
| | | 373,3 | 77,4 |
| | | 234,1 | 18,4 |
| | | 95,8 | |

Figura 11: Despliegue de componentes de calidad (2)

Para la construcción de la matriz de calidad para el despliegue de los componentes funcionales, se sigue el siguiente procedimiento:

1. En la parte izquierda de la matriz de calidad se escriben los elementos de calidad y a su lado se indica el nivel de importancia que cada uno tiene.
2. En la parte superior se escriben los componentes funcionales a evaluar.
3. En la matriz de relación se debe evaluar la influencia que tiene cada uno de los componentes funcionales en la maximización de la satisfacción de cada uno de los elementos de calidad, en caso de que exista una alta influencia se utiliza el símbolo ▲, una influencia media se identifica con el símbolo ⊙, una baja influencia con el símbolo ▼, mientras que se deja en blanco cuando no hay influencia.
4. Posteriormente, se determina la calificación final para cada uno de los componentes funcionales, para lo cual se otorgan valores a los niveles de influencia (en este caso ▲=9, ⊙=3 y ▼=1), el valor de influencia asignado se multiplica por el nivel de importancia de los elementos de calidad correspondientes y se suman los puntajes obtenidos para cada componente funcional.

Los componentes de mayor importancia son los que logran una calificación más alta. Esto no necesariamente indica que deban ser considerados en el proyecto, ya que debe considerarse su costo. En caso de que el costo sea muy alto, existe la posibilidad de que sea más beneficioso implementar otro u otros componentes que, aunque tengan menor importancia, su bajo costo signifique una mayor eficiencia económica para satisfacer las necesidades del propietario. Por lo tanto, debe analizarse el rendimiento económico de los componentes de menor importancia antes de determinar si son definitivamente descartados.

A continuación, se presenta la lista con el orden de importancia de los componentes funcionales que satisfacen las necesidades unidimensionales, obtenido a partir del despliegue de calidad de componentes:

1. Presencia de tapicheles externos
2. Puertas de vidrio
3. Longitud de los aleros
4. Aislamiento térmico en el techo
5. Presencia de rejillas de ventilación
6. Presencia de tragaluz
7. Aceras perimetrales
8. Presencia de cielo raso en el interior
9. Enchapes de paredes internas del baño
10. Presencia de tapicheles internos
11. Pintura en paredes externas
12. Verjas en ventanas
13. Luminarias en el exterior
14. Altura de cielo raso en el interior

5.2.3. DESPLIEGUE DE MATERIALES

En esta sección se consideran los principales materiales disponibles en el mercado para la construcción de la vivienda, específicamente los útiles para la fabricación de los componentes unidimensionales. Se busca identificar los materiales que logran maximizar la eficiencia de los componentes funcionales para la satisfacción de los elementos de calidad. Se consideran únicamente los componentes funcionales que serán implementados en la vivienda, es decir los que alcanzaron un mayor puntaje. Podemos encontrar los siguientes materiales:

⇒ ***TAPICHELES EXTERNOS***

- ✓ Láminas de fibrocemento
- ✓ Láminas de yeso
- ✓ Madera

⇒ ***PUERTAS***

- ✓ Madera
- ✓ Vidrio con marcos de aluminio
- ✓ Vidrio con marcos de madera

⇒ ***LONGITUD DE LOS ALEROS***

Este componente no requiere de un despliegue de materiales, ya que corresponde a un criterio de diseño. Por lo tanto, durante la etapa de diseño se considerarán las características de este

componente funcional, de forma que se satisfagan los elementos de calidad de importancia para la vivienda.

⇒ ***AISLAMIENTO TÉRMICO EN EL TECHO***

- ✓ Espuma de polietileno con dos caras de aluminio
- ✓ Espuma de polietileno con una cara de aluminio y otra de poliéster
- ✓ Poliestireno expandido

⇒ ***REJILLAS DE VENTILACIÓN***

- ✓ Acero
- ✓ Madera
- ✓ Plástico

⇒ ***TRAGALUZ***

- ✓ Lámina traslúcida acrílica
- ✓ Lámina traslúcida de fibra de vidrio
- ✓ Lámina traslúcida de policarbonato

⇒ ***VENTANAS***

- ✓ Celosías
- ✓ Corredizas
- ✓ Marcos de aluminio
- ✓ Marcos de madera

⇒ ***ACERAS PERIMETRALES***

- ✓ Hormigón
- ✓ Madera

⇒ ***CIELO RASO***

- ✓ Láminas de yeso
- ✓ Tablilla plástica

⇒ ***IMPERMEABILIZACIÓN DE PAREDES EXTERNAS***

- ✓ Forro interno de láminas de fibrocemento
- ✓ Forro interno de lámina de núcleo de yeso con placas fibra de vidrio
- ✓ Forro interno de láminas de yeso
- ✓ Forro externo de láminas de fibrocemento
- ✓ Forro externo de lámina de núcleo de yeso con placas fibra de vidrio
- ✓ Forro externo de láminas de yeso

⇒ ***TAPICHELES INTERNOS***

- ✓ Láminas de fibrocemento
- ✓ Láminas de yeso
- ✓ Madera

| Nivel de importancia | Elementos de calidad | |
|----------------------|----------------------------|--|
| | Materiales de construcción | |
| 81,8 | Acabados estéticos | Tapicheles externos de firbocemento |
| 80,0 | Aislamiento acústico | Tapicheles externos de yeso |
| 280,0 | Aislamiento térmico | Tapicheles externos de madera |
| 114,5 | Aseguramiento contra robos | Ventanas de celosías |
| 183,6 | Impermeabilización | Ventanas corredizas |
| 254,5 | Iluminación interna | Marcos de ventanas de aluminio |
| 76,4 | Equipamiento externo | Marcos de ventanas de madera |
| 261,8 | Ventilación | Rejillas de ventilación de acero |
| | | Rejillas de ventilación de madera |
| | | Rejillas de ventilación de plástico |
| | | Aislamiento térmico de polietileno con dos caras de aluminio |
| | | Aislamiento térmico de polietileno con una cara de aluminio y la otra de poliéster |
| | | Aislamiento térmico de poliestireno expandido |
| | | Tragaluz de lámina traslúcida acrílica |
| | | Tragaluz de lámina traslúcida de fibra de vidrio |
| | | Tragaluz de lámina traslúcida de policarbonato |
| | Calificación final | 398,3 |
| | | 255,8 |
| | | 291,4 |
| | | 361,8 |
| | | 445,1 |
| | | 177,9 |
| | | 106,1 |
| | | 349,5 |
| | | 300,4 |
| | | 300,4 |
| | | 186,1 |
| | | 232,9 |
| | | 186,1 |
| | | 169,7 |
| | | 35,8 |
| | | 107,3 |

Figura 12: Despliegue de materiales (1)

Para la construcción de la matriz de calidad para el despliegue de materiales de construcción, se sigue el siguiente procedimiento:

1. En la parte izquierda de la matriz de calidad se escriben los elementos de calidad y a su lado se indica el nivel de importancia que cada uno tiene.
2. En la parte superior se escriben los materiales de construcción a evaluar.
3. En la matriz de relación se debe evaluar la influencia que tiene cada uno de los materiales de construcción en la maximización de cada uno de los elementos de calidad, en caso de que exista una alta influencia se utiliza el símbolo \ominus , una influencia media se identifica con el símbolo \circ , una baja influencia con el símbolo \blacktriangle , mientras que se deja en blanco cuando no hay influencia.
4. Posteriormente, se determina la calificación final para cada uno de los materiales de construcción, para lo cual se otorgan valores a los niveles de influencia (en este caso $\ominus=9$, $\circ=3$ y $\blacktriangle=1$), el valor de influencia asignado se multiplica por el nivel de importancia de los elementos de calidad correspondientes y se suman los puntajes obtenidos para cada material.

| Nivel de importancia | Materiales de construcción | |
|----------------------|----------------------------|-------|
| | Elementos de calidad | |
| 81,8 | Acabados estéticos | |
| 80,0 | Aislamiento acústico | ▶ |
| 280,0 | Aislamiento térmico | ▶ |
| 114,5 | Aseguramiento contra robos | |
| 183,6 | Impermeabilización | ⊕ |
| 254,5 | Iluminación interna | |
| 76,4 | Equipamiento externo | ⊕ |
| 261,8 | Ventilación | |
| | Calificación final | 186,1 |
| | | 79,2 |
| | | 43,6 |
| | | 120,2 |
| | | 101,8 |
| | | 238,6 |
| | | 83,4 |
| | | 104,2 |
| | | 104,2 |
| | | 104,2 |
| | | 259,9 |
| | | 428,2 |
| | | 356,4 |

Figura 13: Despliegue de materiales (2)

Para la construcción de la matriz de calidad para el despliegue de materiales de construcción, se sigue el siguiente procedimiento:

1. En la parte izquierda de la matriz de calidad se escriben los elementos de calidad y a su lado se indica el nivel de importancia que cada uno tiene.
2. En la parte superior se escriben los materiales de construcción a evaluar.
3. En la matriz de relación se debe evaluar la influencia que tiene cada uno de los materiales de construcción en la maximización de la satisfacción de cada uno de los elementos de calidad, en caso de que exista una alta influencia se utiliza el símbolo ⊕, una influencia media se identifica con el símbolo ○, una baja influencia con el símbolo ▶, mientras que se deja en blanco cuando no hay influencia.
4. Posteriormente, se determina la calificación final para cada uno de los materiales de construcción, para lo cual se otorgan valores a los niveles de influencia (en este caso ⊕=9, ○=3 y ▶=1), el valor de influencia asignado se multiplica por el nivel de importancia de los elementos de calidad correspondientes y se suman los puntajes obtenidos para cada material.

En las figuras 12 y 13 se muestra el despliegue de materiales respecto a los elementos de calidad, con lo que se definen los materiales que serán utilizados para la construcción de los componentes de calidad de la vivienda.

A partir del despliegue de materiales realizado, se obtienen las siguientes conclusiones:

⇒ **TAPICHELES EXTERNOS**

La lámina de fibrocemento es el material que mejor cumple con los elementos de calidad y por lo tanto el más apropiado para los tapicheles externos.

⇒ **VENTANAS**

Las ventanas corredizas con marcos de aluminio son las más apropiadas para el cumplimiento de los elementos de calidad y por tanto son las que maximizan la satisfacción del propietario.

⇒ **AISLAMIENTO TÉRMICO EN EL TECHO**

El aislante térmico de polietileno con una cara de aluminio y la otra de poliéster es la más apropiada para el cumplimiento de los elementos de calidad. Es importante resaltar que en caso de que se determine la instalación de cielo raso, la importancia estética que decanta la elección por este material no deberá considerarse, por lo que los tres materiales considerados alcanzarían el mismo nivel de cumplimiento y por tanto la elección final dependerá de la variable económica.

⇒ **REJILLAS DE VENTILACIÓN**

Las rejillas de ventilación de acero son las que han alcanzado el mayor puntaje, lo que las hace las más apropiadas para satisfacer las necesidades del propietario.

⇒ **TRAGALUZ**

La lámina traslúcida acrílica es la mejor opción entre las consideradas para el tragaluz. A pesar de que los otros dos materiales tienen algunas características que suponen una mejor calidad, el despliegue de materiales demuestra que para los objetivos perseguidos el material que logra un mayor nivel de cumplimiento de los elementos de calidad es la lámina acrílica.

⇒ **IMPERMEABILIZACIÓN DE PAREDES EXTERNAS**

Las paredes externas de láminas de fibrocemento son las que mejor cumplen con los elementos de calidad, lo anterior principalmente debido a la impermeabilidad con que cuenta este material.

⇒ **ACERAS PERIMETRALES**

Las aceras de hormigón logran mayor nivel de cumplimiento que las de madera, principalmente por que las aceras de madera no aportan la impermeabilidad a la vivienda que las de hormigón sí pueden aportar.

⇒ **CIELO RASO**

El cielo raso de yeso es el material que logra el mayor nivel de cumplimiento de los elementos de calidad considerados. Por lo tanto, es el que logra la mayor satisfacción del cliente y es el que debe escogerse.

⇒ **TAPICHELES INTERNOS**

En el caso de los tapicheles internos todos los materiales tienen el mismo impacto en los elementos de calidad considerados. Por lo tanto, la elección del material es un tema meramente económico.

⇒ **PUERTAS**

Para el caso de las puertas externas, debido a la importancia de la iluminación interna y a la superioridad del aluminio por encima de la madera para resistir la humedad, se observa que el tipo de puertas externas que mejor cumple con los elementos de calidad es la puerta de vidrio con marco de aluminio.

5.3. DESPLIEGUE DE CALIDAD DE NECESIDADES ATRACTIVAS

La satisfacción de estas necesidades se logra implementando elementos innovadores, que aporten características que logren atraer el interés del propietario, dichos elementos deben alcanzar un alto nivel de calidad para que logren su propósito de captar la atención. Es importante resaltar que las características relacionadas a las necesidades atractivas son complementarias y su no implementación no perjudica la aceptación de la vivienda.

En cuanto a inversión de recursos económicos, las necesidades atractivas consideradas en la investigación son de costo cero. Esto quiere decir que son necesidades que se satisfacen por medio de criterios de diseño que deben considerarse e integrarse al diseño sin representar un costo significativo. Por lo tanto, no aportan componentes adicionales al diseño.

El despliegue de calidad debe enfocarse en la identificación de los criterios de diseño que logren la satisfacción de las necesidades atractivas. Por lo tanto, lo necesario es realizar una descomposición a partir de las necesidades atractivas, pasando por los elementos de calidad y llegando hasta la obtención de los criterios que deben ser considerados en el diseño. La metodología utilizada se presenta en la figura 14.

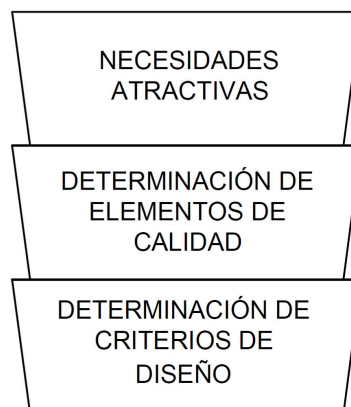


Figura 14: Despliegue de calidad de necesidades atractivas

La metodología inicia a partir de las necesidades clasificadas como atractivas, posteriormente se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Determinación de elementos de calidad de la vivienda.

Se determinan los elementos de calidad que logran satisfacer las necesidades atractivas, con lo que se busca esclarecer los objetivos perseguidos por cada una de las necesidades.

- ✓ Determinación de criterios de diseño.

Para cada elemento de calidad se estudian criterios de diseño que logren innovar sin aumentar el presupuesto, de forma que la vivienda se convierta en una opción diferente a otras que puedan encontrarse en el mercado y que aumente el nivel de satisfacción del propietario.

5.3.1. DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS DE CALIDAD

Estos elementos de calidad buscan superar las expectativas del propietario, de forma que el valor percibido de la vivienda y la satisfacción del propietario aumentan con su cumplimiento. Los elementos de calidad necesarios para lograr el cumplimiento de las necesidades atractivas son los siguientes:

⇒ ***FÁCIL MOVILIDAD INTERNA***

Facilidad de desplazamientos en el interior de la vivienda y hacia o desde el exterior, de forma que se maximice la practicidad del espacio. Al ser viviendas pequeñas se pueden presentar problemas de movilidad, ya que el paso de las personas puede interrumpir actividades simples y comunes como cocinar, ver televisión o cenar. Los principales elementos que facilitan la movilidad interna son los siguientes:

- ✓ Preferencia de espacios abiertos
- ✓ Organización de recorridos
- ✓ Consideración de usos del espacio
- ✓ Prevención de obstáculos

⇒ ***REDUCIR COSTOS DE FUTURAS AMPLIACIONES***

Debido al tipo de familias que se ven beneficiadas por el Bono Familiar de Vivienda, es común que con el paso del tiempo exista la necesidad de aumentar las dimensiones de la vivienda. Por lo que es recomendable que el diseño contemple diferentes alternativas que permitan realizar estas intervenciones, sin deteriorar la funcionalidad de la vivienda y sin incurrir en gastos excesivos. Es importante contar con muchas posibilidades de ampliación, de manera que cada propietario pueda adoptar la que mejor se ajuste a sus necesidades.

Muchos de los proyectos de este tipo cuentan con terrenos de reducidas dimensiones, principalmente en cuanto al ancho, por lo que es importante considerar esta limitación a la hora de diseñar la vivienda. Los principales elementos que permiten la reducción de los costos necesarios para desarrollar futuras ampliaciones son los siguientes:

- ✓ Consideración de distintas posibilidades de ampliación en el diseño inicial
- ✓ Facilitar obras de ampliación
- ✓ Consideración de dimensiones del terreno y ubicación de la vivienda

5.3.2. DETERMINACIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño no deben representar un aumento en el costo de la vivienda y deben ser seleccionados de forma que se logre maximizar la satisfacción de los elementos de calidad.

Respecto a la necesidad de facilitar la movilidad interna, los criterios de diseño identificados son los siguientes:

- ⇒ ***PREFERENCIA DE ESPACIOS ABIERTOS***
 - ✓ Cocina, comedor y sala sin paredes divisorias
- ⇒ ***ORGANIZACIÓN DE RECORRIDOS***
 - ✓ El baño cerca de los dormitorios
 - ✓ Acceso a dormitorios y baño desde la sala
 - ✓ La cocina cerca del comedor y del cuarto de pilas
- ⇒ ***CONSIDERACIÓN DE USOS DEL ESPACIO***
 - ✓ Considerar ubicación de muebles en la distribución de la vivienda
- ⇒ ***PREVENCIÓN DE OBSTÁCULOS***
 - ✓ Definir zonas de paso y evitar la ubicación de muebles en ellas

Respecto a la necesidad de reducir los costos de futuras ampliaciones, los criterios de diseño identificados son los siguientes:

- ⇒ ***CONSIDERACIÓN DE DISTINTAS POSIBILIDADES DE AMPLIACIÓN EN EL DISEÑO INICIAL***
 - ✓ Agrandar la cocina
 - ✓ Agrandar la sala
 - ✓ Agrandar el comedor
 - ✓ Agregar un dormitorio
 - ✓ Agregar un aparcamiento
 - ✓ Agregar una terraza (corredor)
 - ✓ Agregar un cuarto de pilas
- ⇒ ***FACILITAR OBRAS DE AMPLIACIÓN***
 - ✓ Evitar demoliciones
 - ✓ Considerar la altura y la pendiente del techo
 - ✓ Considerar cimentaciones
 - ✓ Considerar unión de estructuras
- ⇒ ***CONSIDERACIÓN DE DIMENSIONES DEL TERRENO Y UBICACIÓN DE LA VIVIENDA***
 - ✓ Considerar un terreno de poco ancho
 - ✓ Considerar una pared en colindancia

6. ETAPA 3: DISEÑO DE LA VIVIENDA Y ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se realiza el diseño definitivo de la vivienda, para lo cual se utiliza toda la información obtenida del despliegue de calidad efectuado. En la sección 6.1 se realiza un diseño preliminar de la vivienda para lo cual se consideran los componentes funcionales, los criterios de diseño y los materiales de construcción definidos en el capítulo anterior. Como esta información no es suficiente, en la sección 6.1.1 se toman una serie de decisiones de diseño, que permiten desarrollar en la sección 6.1.2 los diseños constructivos preliminares de la vivienda.

En la sección 6.2 se realiza el análisis económico del diseño obtenido en la sección 6.1. En la sección 6.2.1 se determina el presupuesto disponible para la obra una vez descontados los costos indirectos del proyecto. En la sección 6.2.2 se calcula el costo de los componentes obligatorios, los cuales deben estar presentes en la vivienda. En la sección 6.2.3 se calcula el monto económico restante una vez descontado el costo de los componentes obligatorios. Dicho monto, debe ser utilizado para la satisfacción de las necesidades unidimensionales. Por lo que se hace un análisis de rendimiento económico, para seleccionar los componentes unidimensionales a incluir en el diseño de la vivienda.

En la sección 6.3 se define el proceso constructivo a seguir, para cumplir con el estudio económico planteado. Además, se detalla la programación para la construcción de una vivienda conforme al diseño y al proceso constructivo definido.

6.1. DISEÑO DE LA VIVIENDA

Tanto los componentes funcionales, como los criterios de diseño y los materiales deben implementarse conjuntamente, de esta forma se logra el máximo provecho a los resultados del despliegue de calidad. Los criterios de diseño indican las generalidades que deben considerarse en el diseño. Los componentes funcionales y los materiales van un paso más adelante, en cuanto a las características específicas de la vivienda. A continuación, se presentan los criterios de diseño determinados en el capítulo anterior:

- ✓ Minimizar área de construcción
- ✓ Minimizar área de paredes
- ✓ Rapidez de instalación de los muebles fijos
- ✓ Poca longitud de las instalaciones eléctricas, de agua potable
- ✓ Universalidad de los materiales
- ✓ Economía del material bruto
- ✓ Facilidad de transporte y descarga
- ✓ Rapidez de construcción
- ✓ Poco desperdicio de materiales
- ✓ Suficiente longitud de aleros para permitir actividades en el exterior
- ✓ Suficiente altura del nivel de piso para proteger la vivienda de la humedad
- ✓ Cocina, comedor y sala sin paredes divisorias
- ✓ El baño cerca de los dormitorios
- ✓ Acceso a dormitorios y baño desde la sala
- ✓ La cocina cerca del comedor y del cuarto de pilas
- ✓ Considerar ubicación de muebles en la distribución de la vivienda
- ✓ Definir zonas de paso y evitar la ubicación de muebles en ellas

- ✓ Considerar un terreno de poco ancho
- ✓ Considerar una pared en colindancia
- ✓ Considerar desde el diseño inicial la posibilidad de agrandar la cocina, la sala o el comedor, así como también la posibilidad de agregar un dormitorio, un aparcamiento, una terraza o un cuarto de pilas
- ✓ Evitar demoliciones en las obras de ampliación
- ✓ Considerar la altura y la pendiente del techo para obras de ampliación
- ✓ Considerar cimentaciones de las obras de ampliación
- ✓ Considerar la unión de la estructura de la vivienda con la de las posibles ampliaciones

A continuación, se presentan los materiales a utilizar:

- ✓ Contrapiso, aceras y cimientos de hormigón
- ✓ Columnas y vigas de acero
- ✓ Paredes y tapicheles externos de fibrocemento
- ✓ Techo de hierro galvanizado
- ✓ Rellenos de material granular
- ✓ Ventanas corredizas de aluminio
- ✓ Rejillas de ventilación de acero
- ✓ Aislante térmico de techo de polietileno con una cara de aluminio y otra de poliéster
- ✓ Tragaluz de lámina traslúcida acrílica
- ✓ Cielo raso, tapicheles internos y paredes internas de yeso
- ✓ Puertas externas de vidrio

6.1.1. DECISIONES DE DISEÑO

Los componentes funcionales, los criterios de diseño y los materiales de construcción, a pesar de que definen las bases de la vivienda, no son suficientes para todos los detalles que se requieren para un diseño detallado. Por lo tanto, es necesario tomar una serie de decisiones, que permitan tener las bases para la realización del diseño de la vivienda. Las decisiones de diseño deben basarse en la información obtenida del despliegue de calidad, pero se determinan conforme al criterio profesional del diseñador. Por lo tanto, es de esperar que las decisiones de diseño varíen de un diseñador a otro.

En esta sección se toman decisiones de diseño para los componentes funcionales más relevantes de la vivienda. Estas decisiones de diseño se enfocarán principalmente en reducir los costos de la vivienda y en asegurar la calidad de los elementos de la vivienda. Para lo cual se buscará el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- ✓ Minimizar el tiempo de construcción de la vivienda: Esto se logra mediante diseños fáciles de construir y que requieran poca cantidad de actividades. Por lo que los trabajos a realizar en el sitio de la obra deben basarse en actividades de colocación y montaje. Esto significa ahorros en costos indirectos como hospedaje, alimentación y transporte del equipo de construcción.
- ✓ Asegurar la calidad de los elementos de la vivienda: Esto se logra mediante el control de calidad de los elementos de la vivienda. Esto se logra mediante mano de obra especializada en cada una de las actividades a desarrollar, sumado a la revisión por parte de un ingeniero especializado. Esto permite disminuir problemas prematuros en las viviendas, con lo que se asegura la satisfacción del cliente y se reducen los costos relacionados con obras de reparación y corrección de errores.

Para cumplir con estos objetivos se toman las siguientes decisiones de diseño generales para toda la construcción:

- ✓ Construcción mediante una línea de montaje: Esto permite realizar labores en lugares ajenos al sitio de construcción, los cuales deben ser talleres con todas las comodidades para la realización de la actividad correspondiente. Además, cada uno de los equipos de trabajo se dedican a labores en las cuales son especialistas. Todo lo anterior permite disminuir los tiempos de trabajo en el sitio de la obra. Adicionalmente, permite tener un mejor control de calidad, ya que además de que las labores son realizadas por especialistas, esta modalidad de trabajo brinda facilidades para la revisión por parte del ingeniero especialista. Ya que no es necesario su desplazamiento hasta el sitio de la obra para revisar el cumplimiento de los estándares de calidad indicados en el diseño. Otro de las ventajas es la curva de aprendizaje, que predice un mayor rendimiento conforme se construyen más viviendas.
- ✓ Diseños modulares: Un diseño modular debe ser armable, transportable y requerir poca cantidad de cortes y uniones. Por lo tanto, un diseño modular es adaptable a una construcción mediante línea de montaje. Además de las ventajas que ofrece la línea de montaje, los diseños modulares evitan el desperdicio de materiales, lo que significa una disminución en los costos de la obra. Otra ventaja es que se evita la necesidad de transportar equipos y herramientas especializadas hasta el sitio de la obra, lo que significa un ahorro en costos.

A continuación, se presentan las decisiones de diseño correspondientes a los componentes funcionales más relevantes de la obra:

⇒ ***CONTRAPISO, ACERAS Y CIMIENTOS:***

Todas las armaduras de cimentación deben tener las mismas características y dimensiones, de forma que puedan ser elaboradas en un taller y posteriormente trasladarse al sitio de la construcción. Esta característica ofrece las siguientes ventajas:

- ✓ Mejor control de calidad durante el armado.
- ✓ Mejores condiciones de trabajo y por tanto mayor rendimiento.
- ✓ Menos desperdicio, al utilizar armaduras que aprovechen la longitud estándar de las varillas.
- ✓ Mayor velocidad de armado, al desarrollar únicamente un tipo de armadura.
- ✓ Menos errores constructivos, al contar con un equipo especializado en esta tarea y al evitar la colocación de armaduras en sitios distintos al que les corresponde.

El acero del contrapiso y las aceras debe ser de mallas electrosoldadas. Las cuales ofrecen las siguientes ventajas:

- ✓ Son fáciles de conseguir.
- ✓ Cuentan con características estándar.
- ✓ Ocupan poco espacio durante el transporte.

El hormigón deberá ser premezclado. Con lo cual se logran las siguientes ventajas.

- ✓ Se logra una calidad de concreto homogénea.
- ✓ Se logra la chorroa de cimientos, contrapiso y aceras en un solo día.
- ✓ Se reduce el desperdicio de materiales.

⇒ ***COLUMNAS Y VIGAS:***

Todas las columnas y las vigas de acero deben ser elaboradas en un taller de soldadura y posteriormente deben trasladarse al sitio de la obra, la unión de los elementos se realizará por medio de tornillos. Esta característica ofrece las siguientes ventajas:

- ✓ Mejor control de calidad durante la elaboración de los elementos.
- ✓ Mejores condiciones de trabajo y por tanto mayor rendimiento.
- ✓ Mayor velocidad de construcción.
- ✓ Menos necesidad de equipos especializados en el sitio de la obra.
- ✓ Menos errores constructivos, al contar con un equipo especializado en esta tarea.

⇒ ***PAREDES Y TAPICHELES:***

De acuerdo con el despliegue de calidad, las paredes y los tapicheles deben ser de láminas de fibrocemento y de yeso, las cuales cuentan con dimensiones estándar de 1,22 m x 2,44 m. La separación entre las columnas de acero debe ser de 1,22 m y la altura desde el piso hasta el nivel de viga debe ser de 2,44 m, de forma que se reduzca la necesidad de cortar láminas y el desperdicio de los materiales.

⇒ ***CUBIERTA DE TECHO:***

Se utilizarán láminas de hierro galvanizado y láminas traslúcidas acrílicas para el tragaluz, estas láminas serán onduladas estándar, de forma que puedan acoplarse entre sí. Estos materiales pueden encontrarse en distintas longitudes, lo que permite evitar cortes y minimizar traslapes.

⇒ ***VENTANAS Y PUERTAS:***

Las ventanas y puertas de vidrio con marcos de aluminio serán elaboradas en un taller y posteriormente trasladadas al sitio de la obra, su instalación se realizará mediante el uso de tornillos. Todas las ventanas tendrán las mismas dimensiones, lo mismo que las puertas. Estas características ofrecen las siguientes ventajas:

- ✓ Mejor control de calidad durante su elaboración.
- ✓ Mejores condiciones de trabajo y por tanto mayor rendimiento.
- ✓ Mayor velocidad de instalación.
- ✓ Menos necesidad de equipos especializados en el sitio de la obra.
- ✓ Menos errores constructivos, al contar con un equipo especializado en esta tarea.

⇒ ***REJILLAS DE VENTILACIÓN***

Las rejillas de ventilación serán aberturas ubicadas sobre cada una de las puertas, las ventanas y en una sección del techo. Las rejillas ubicadas sobre las puertas y ventanas tendrán todas las mismas dimensiones y características y serán elaboradas en un taller de soldadura y posteriormente instaladas mediante el uso de tornillos.

⇒ ***AISLANTE TÉRMICO DE TECHO***

El aislante térmico de techo deberá ser instalado entre la cubierta de techo y los clavadores, de forma que se eviten los problemas de desprendimiento que podría sufrirse de instalarse por debajo de las vigas. Este método además es más simple y aumenta la velocidad de instalación.

6.1.2. DISEÑOS CONSTRUCTIVOS

En las figuras de la 15 a la 19 se muestra el diseño preliminar de la vivienda, donde se tienen en consideración todas las decisiones tomadas en la sección 6.1.1 y los materiales y criterios de diseño determinados mediante el despliegue de calidad realizado en el capítulo anterior.

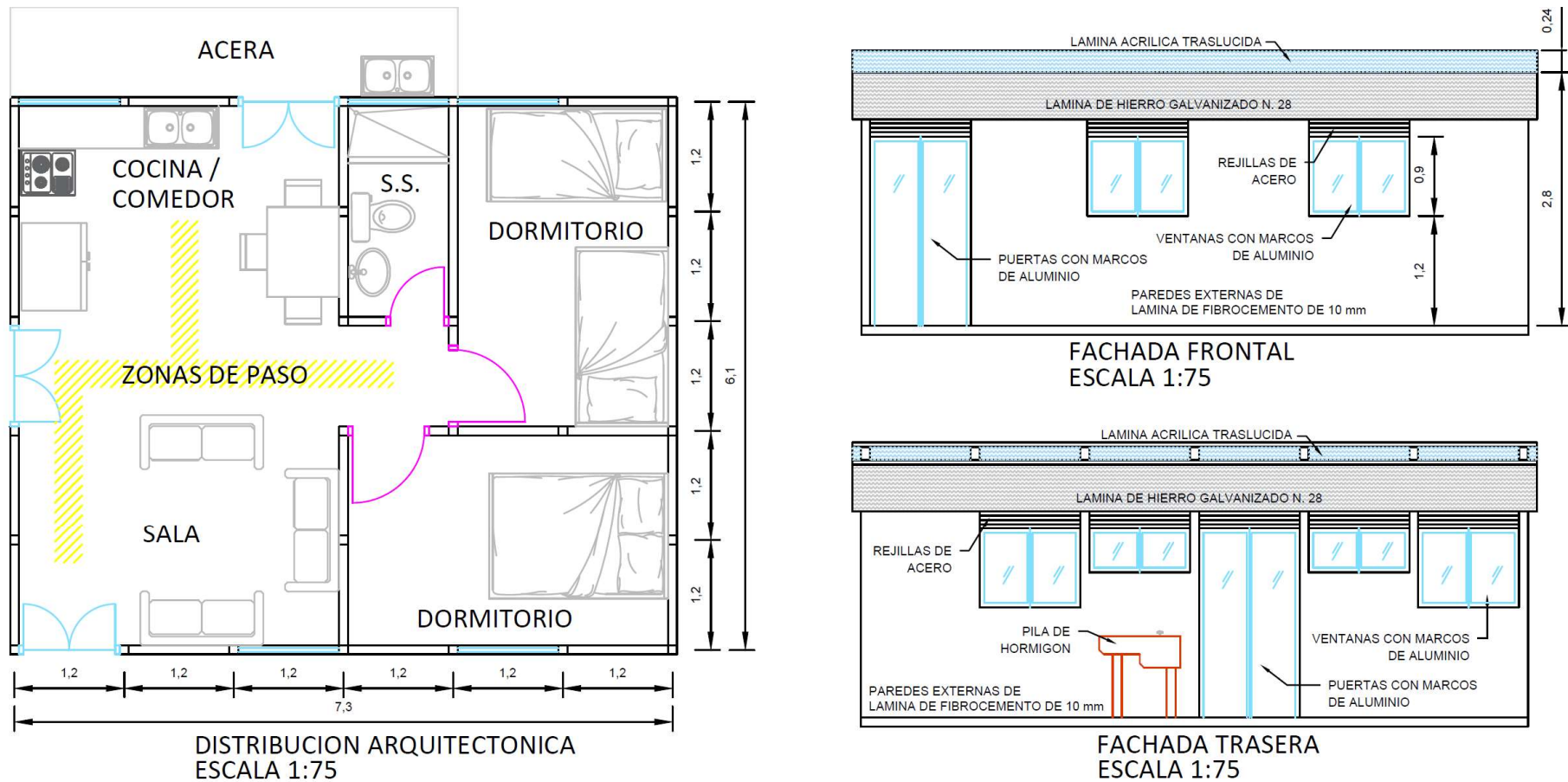
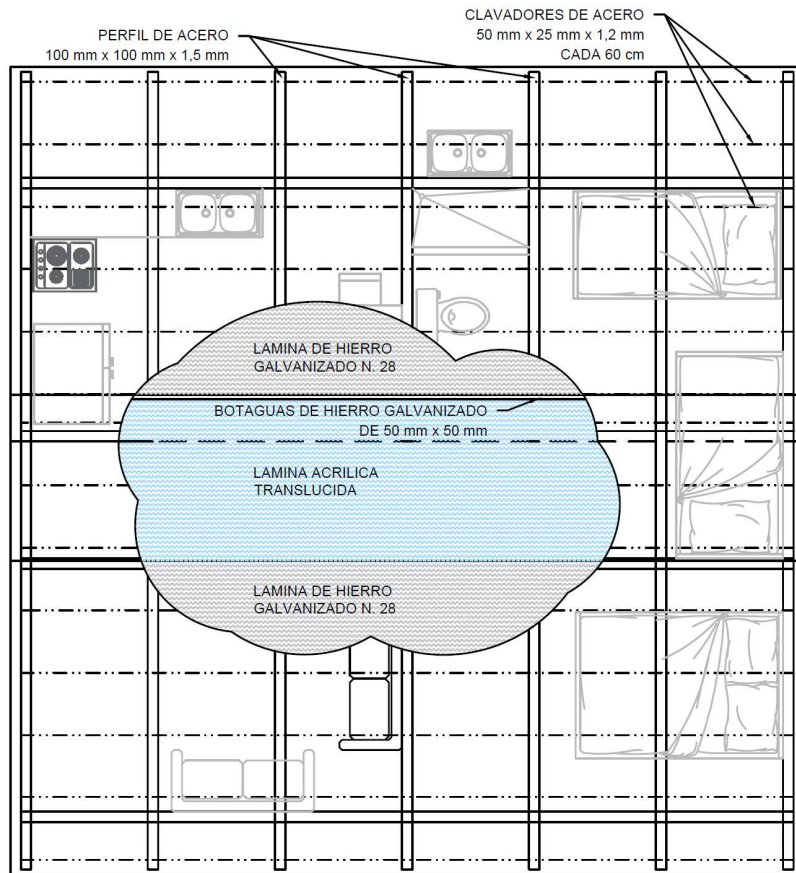
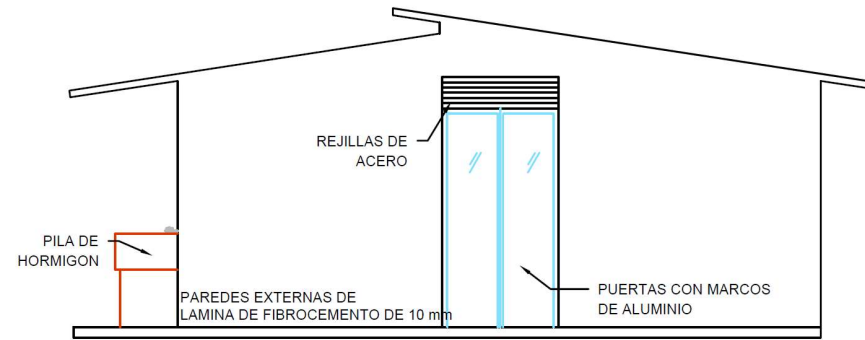


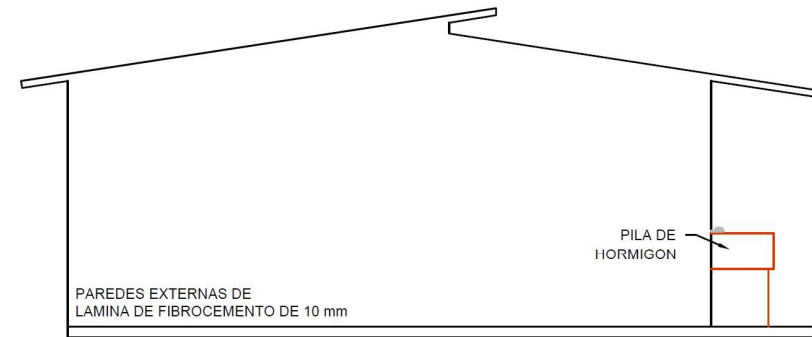
Figura 15: Distribución arquitectónica y fachadas frontal y trasera
Todas las medidas están en metros.



PLANTA DE TECHOS
ESCALA 1:75



FACHADA LATERAL IZQUIERDA
ESCALA 1:75



FACHADA LATERAL DERECHA
ESCALA 1:75

Figura 16: Planta de techos y fachadas laterales
Notas: Todas las medidas están en metros.

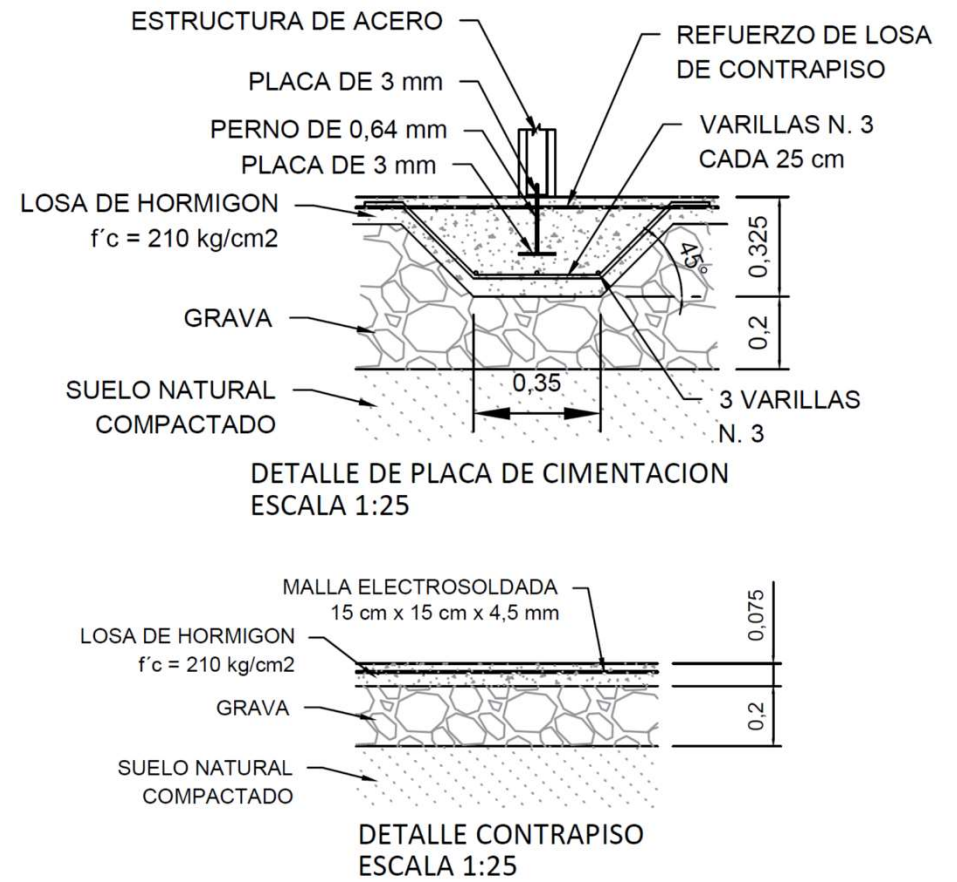
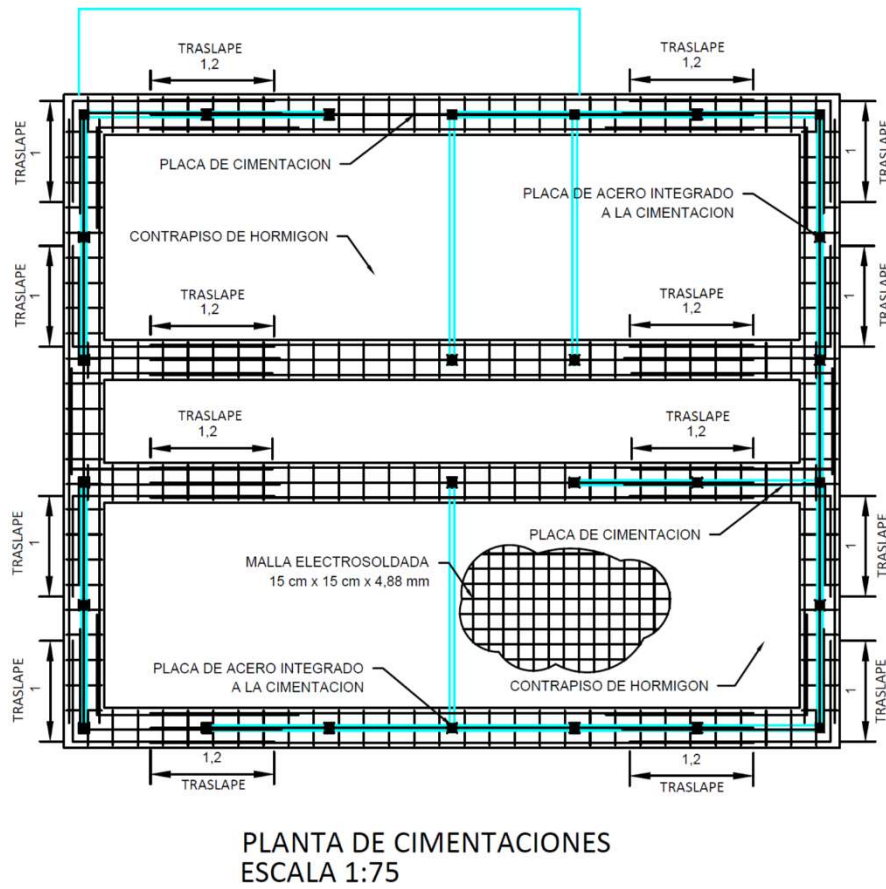
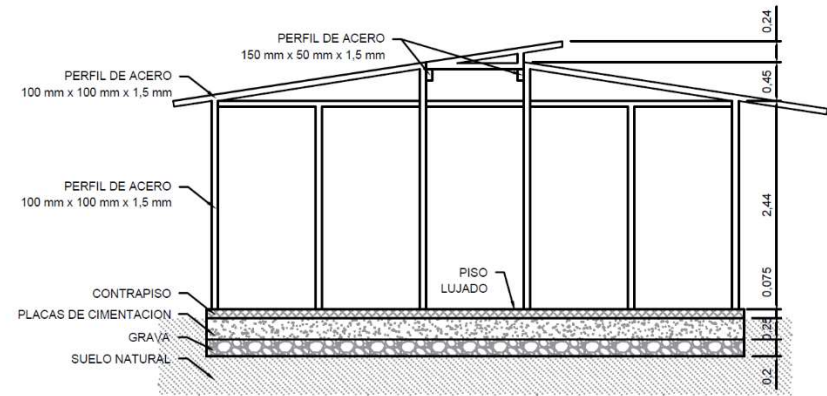
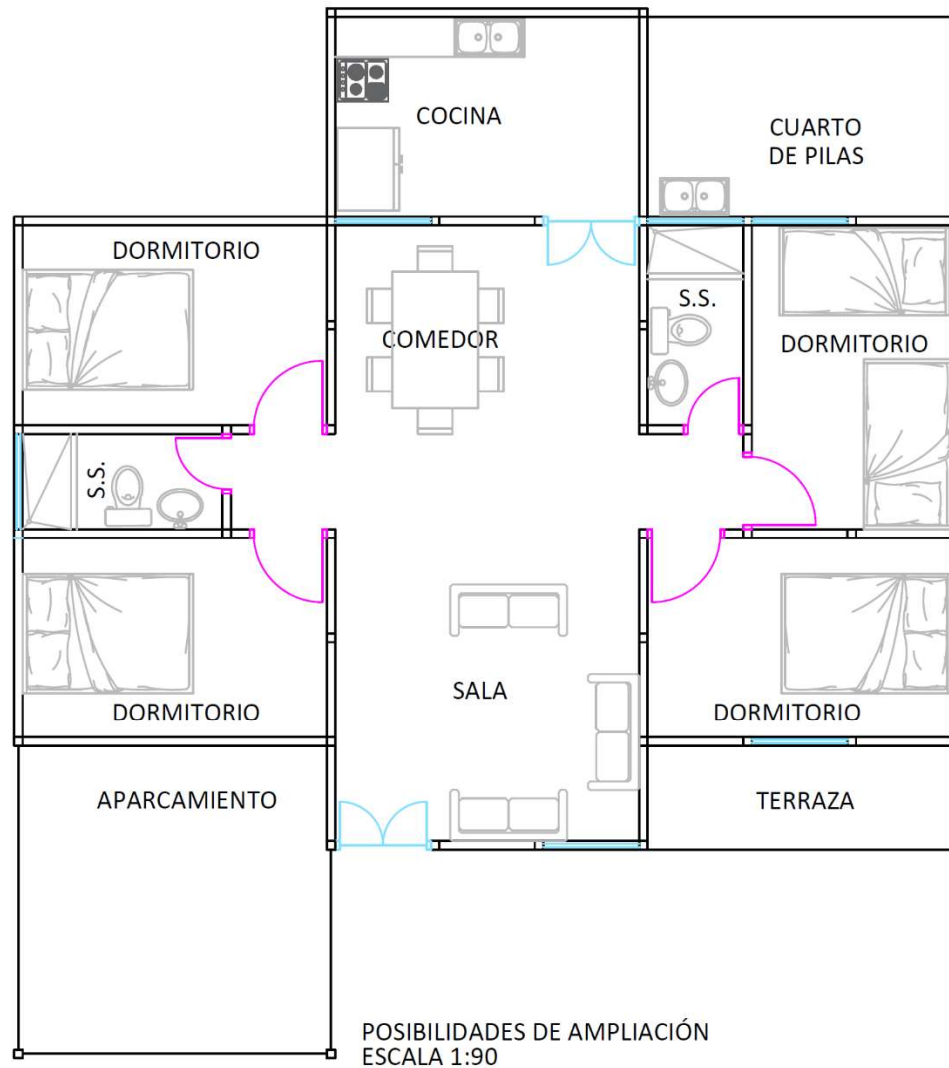
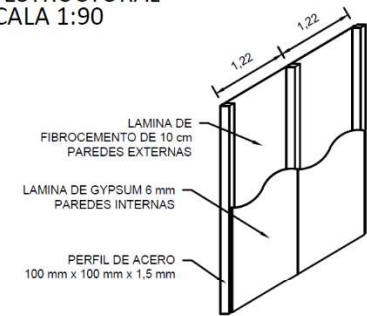


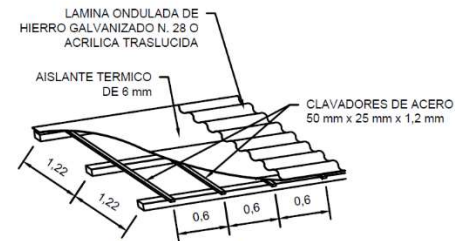
Figura 17: Planta de cimentaciones y detalles
 Notas: Todas las medidas están en metros.



PLANTA ESTRUCTURAL
ESCALA 1:90

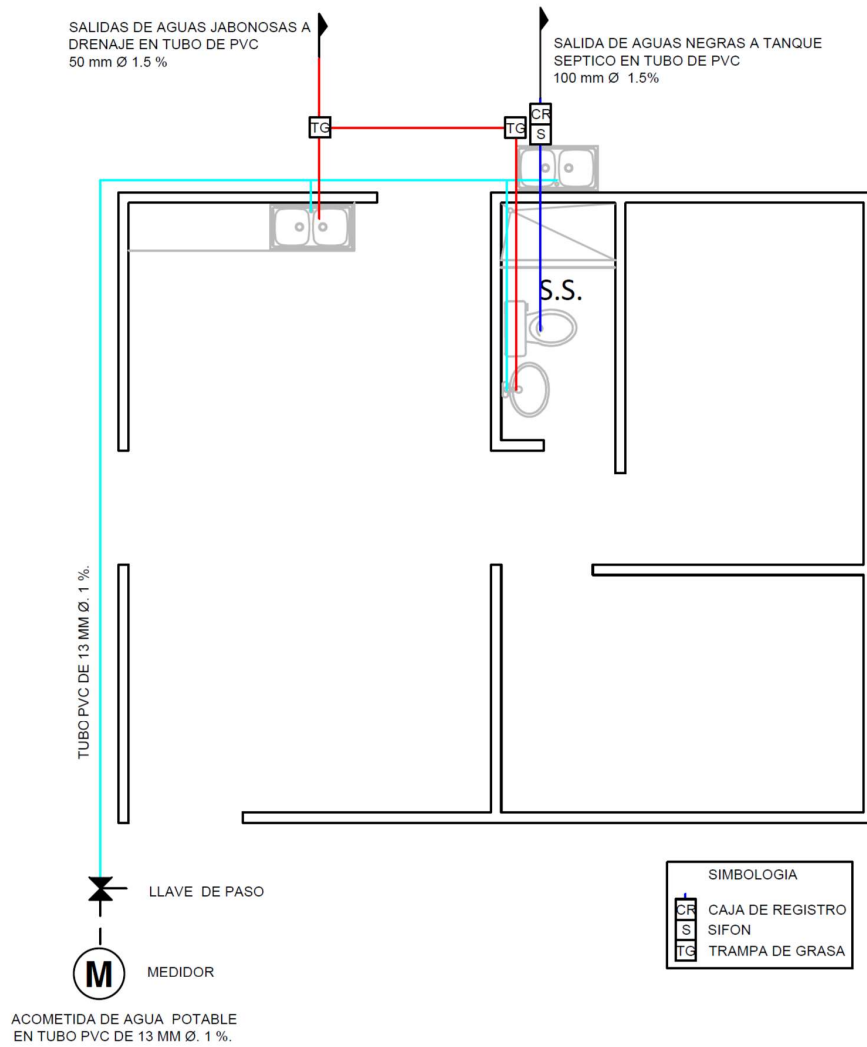


DETALLE PAREDES LIVIANAS
ESCALA 1:120



DETALLE CUBIERTA DE TECHO
ESCALA 1:120

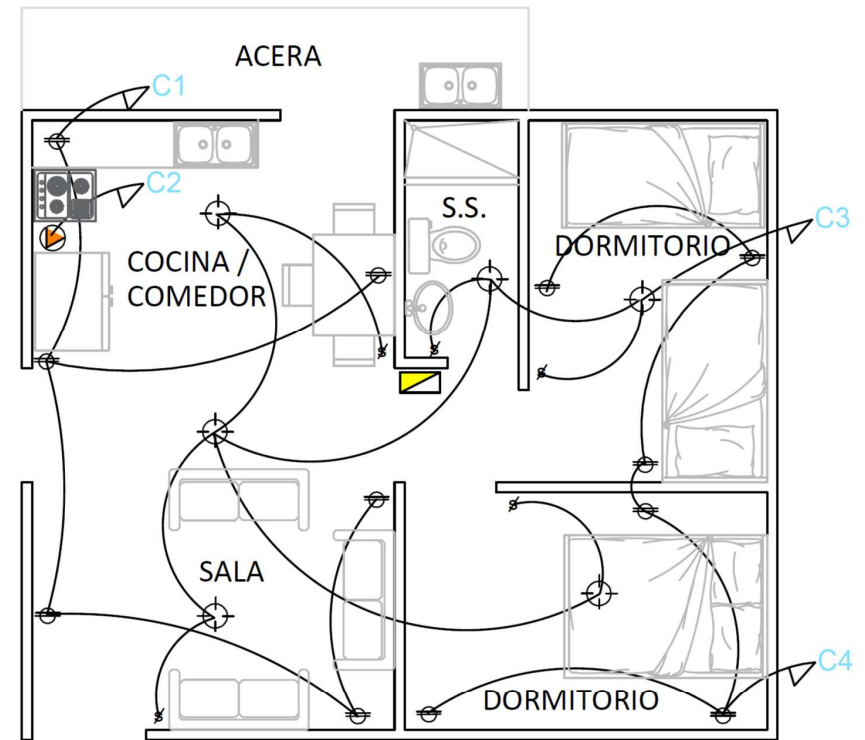
Figura 18: Posibilidades de ampliación, planta estructural y detalles
Notas: Todas las medidas en metros.



DISTRIBUCION MECANICA

SIMBOLOGIA

| | |
|----|------------------|
| CR | CAJA DE REGISTRO |
| S | SIFON |
| TG | TRAMPA DE GRASA |



SIMBOLOGIA

| | |
|--|--|
| | SALIDA EN PARED TRIFILAR, PARA COCINA |
| | SALIDA PARA TOMACORRIENTE DOBLE |
| | INTERRUPTOR |
| | SALIDA PARA LAMPARA DE CIELO |
| | CENTRO DE CARGA ELECTRICA DE 12 ESPACIOS |

DISTRIBUCION ELECTRICA

Figura 19: Distribución mecánica y eléctrica

6.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

6.2.1. PRESUPUESTO DISPONIBLE PARA LA OBRA

En esta sección se analizan los costos del proyecto, primero se calcula el presupuesto disponible para la construcción, posteriormente, se calculan los costos correspondientes a la construcción de los componentes obligatorios, el dinero restante debe utilizarse de forma que se maximice la satisfacción de las necesidades unidimensionales. Los criterios de diseño necesarios para la satisfacción de las necesidades atractivas ya han sido considerados desde la concepción básica del diseño, por lo que no se generan costos adicionales para la satisfacción de las necesidades atractivas.

El monto total del subsidio es de siete millones de colones, los cuales deben ser suficientes no solo para la construcción de la obra (costos directos), sino también para cubrir todos los costos indirectos de la obra, los cuales pueden calcularse como un porcentaje de los costos directos. En la siguiente lista se presentan los costos indirectos de la obra y se indica el porcentaje del costo directo que cada uno representa:

- ✓ Administración del proyecto (4 % del costo directo)
- ✓ Honorarios del profesional responsable (5 % del costo directo)
- ✓ Utilidades del contratista (5,25 % del costo directo)

En la tabla 3, se presenta el presupuesto disponible para la obra, donde se puede observar que el monto para la construcción (costos directos) es de ₡6 130 000.

Tabla 3: Presupuesto disponible para el proyecto

| | |
|--|--------------------|
| Presupuesto Disponible para la Obra | ₡ 7 000 000 |
| Total Costos Directos | ₡ 6 130 000 |
| Total Costos Indirectos | ₡ 870 000 |
| Administración del contratista | ₡ 245 000 |
| Utilidad de contratista | ₡ 305 000 |
| Honorarios planos y dirección técnica | ₡ 320 000 |

El uso del presupuesto disponible para la construcción de la obra debe optimizarse de forma que se alcance el mayor nivel de satisfacción del propietario de la vivienda. Los componentes de la vivienda que satisfacen las necesidades obligatorias representan los costos mínimos de la obra, el presupuesto restante se utiliza para maximizar la satisfacción por medio de las necesidades unidimensionales.

6.2.2. PRESUPUESTO DE COMPONENTES OBLIGATORIOS

En esta sección se calcula el presupuesto necesario para la construcción de los componentes funcionales que satisfacen las necesidades obligatorias, de acuerdo con el despliegue de calidad realizado en la sección 5.1. Para la confección del diseño se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ El diseño de la vivienda incluye dos dormitorios, un baño y un espacio abierto que alberga cocina, comedor y sala, la pila para lavar ropa se incluye como un elemento

ubicado en el exterior de la vivienda. Durante las tareas de diseño se intenta minimizar el área de construcción y el área de paredes.

- ✓ Se incluye el equipamiento básico de la vivienda que consiste en un inodoro, un lavatorio, un fregadero y la encimera de la cocina, este mobiliario se selecciona considerando la rapidez de instalación como principal variable.
- ✓ La instalación eléctrica, de agua potable y de aguas residuales, responde a un diseño de ingeniería acorde a los requisitos técnicos correspondientes, que intenta minimizar la cantidad de materiales.
- ✓ Las paredes, el techo y el contrapiso, se diseñan conforme el despliegue de materiales realizado.
- ✓ El suelo soportante, la cimentación, las columnas y las vigas, se diseñan conforme el despliegue de materiales realizado.

Respecto a la satisfacción de las necesidades atractivas, desde la confección inicial del diseño se considera:

- ✓ Una pared en colindancia.
- ✓ Una zona de paso definida, sin obstaculizaciones.
- ✓ Un diseño con facilidad de ampliaciones, sin necesidades de demoler paredes ni vigas, ni hacer modificaciones en el techo.
- ✓ Ubicación de ventanas y puertas que faciliten labores de ampliación y que se acoplen a las ampliaciones sin necesidad de correcciones.

En las figuras 20 y 21, se presenta el presupuesto realizado para la construcción de los componentes funcionales, los cuales corresponden a gastos básicos que no pueden evitarse. Se incluyen algunos elementos adicionales que son totalmente necesarios, como los trabajos preliminares de la obra y la limpieza final previo a la entrega de la vivienda. El costo total necesario para la construcción de los componentes obligatorios es de ¢ 5.371.000.

| RUBRO | DESCRIPCION | Cantidad | Unidad | Materiales | Mano de Obra | Equipo y Transporte | Total |
|----------|---|----------|-----------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|
| 1 | Trabajos Preliminares | | | | | | |
| | Limpeza del terreno | 1,00 | global | | ¢ 4 000 | ¢ 1 000 | ¢ 5 000 |
| | Trazado | 44,53 | m2 | ¢ 1 500 | ¢ 6 500 | ¢ 1 000 | ¢ 9 000 |
| | | | Subtotal | ¢ 1 500 | ¢ 10 500 | ¢ 2 000 | ¢ 14 000 |
| 2 | Cimientos | | | | | | |
| | Zanjeo | 6,62 | m3 | | ¢ 45 000 | ¢ 3 000 | ¢ 48 000 |
| | Material de grava (20 cm espesor) | 3,31 | m3 | ¢ 16 000 | ¢ 4 000 | ¢ 2 000 | ¢ 22 000 |
| | Acero de placas corridas | 1,00 | global | ¢ 71 500 | ¢ 27 000 | ¢ 5 000 | ¢ 103 500 |
| | Hormigón de placas corridas | 3,31 | m3 | ¢ 295 000 | ¢ 60 000 | ¢ 5 000 | ¢ 360 000 |
| | | | Subtotal | ¢ 382 500 | ¢ 136 000 | ¢ 15 000 | ¢ 533 500 |
| 3 | Paredes | | | | | | |
| | Paredes externas (fibrocemento 10mm) | 17,00 | láminas | ¢ 255 000 | ¢ 22 000 | ¢ 3 000 | ¢ 280 000 |
| | Paredes Internas (gypsum 6mm) | 42,00 | láminas | ¢ 147 000 | ¢ 54 500 | ¢ 5 000 | ¢ 206 500 |
| | | | Subtotal | ¢ 402 000 | ¢ 76 500 | ¢ 8 000 | ¢ 486 500 |
| 4 | Estructura de acero | | | | | | |
| | Tubo estructural (100 mm x 100 mm x 1,5 mm) | 180,00 | ml | ¢ 630 000 | ¢ 90 000 | ¢ 15 000 | ¢ 735 000 |
| | Tubo estructural (50 mm x 150 mm x 1,5 mm) | 15,00 | ml | ¢ 52 500 | ¢ 10 000 | ¢ 5 000 | ¢ 67 500 |
| | | | Subtotal | ¢ 682 500 | ¢ 100 000 | ¢ 20 000 | ¢ 802 500 |

Figura 20: Presupuesto de componentes obligatorios (1)

DISEÑO SOSTENIBLE DE UNA VIVIENDA DE BIEN SOCIAL EN COSTA RICA

| RUBRO | DESCRIPCION | Cantidad | Unidad | Materiales | Mano de Obra | Equipo y Transporte | Total |
|-----------|---|----------|---------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| 5 | Contrapiso | | | | | | |
| | Material de grava (20 cm espesor) | 8,91 | m3 | ₡ 32 000 | ₡ 10 500 | ₡ 20 000 | ₡ 62 500 |
| | Hormigón de losa contrapiso | 3,34 | m3 | ₡ 297 000 | ₡ 61 000 | ₡ 5 000 | ₡ 363 000 |
| | Malla Electrosoldada | 44,53 | m2 | ₡ 62 500 | ₡ 15 000 | ₡ 5 000 | ₡ 82 500 |
| | Subtotal | | | ₡ 391 500 | ₡ 86 500 | ₡ 30 000 | ₡ 508 000 |
| 6 | Pisos | | | | | | |
| | Lujado | 44,53 | m2 | ₡ 44 500 | ₡ 53 500 | ₡ 20 000 | ₡ 118 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 44 500 | ₡ 53 500 | ₡ 20 000 | ₡ 118 000 |
| 7 | Techos | | | | | | |
| | Clavadores tubo estructural (25mm x 50mm x 1,2mm) | 60,00 | ml | ₡ 72 000 | ₡ 15 000 | ₡ 10 000 | ₡ 97 000 |
| | Cubierta HG #28 (1,83 m largo) | 12,00 | láminas | ₡ 60 000 | ₡ 14 000 | ₡ 5 000 | ₡ 79 000 |
| | Cubierta HG #28 (3,05 m largo) | 24,00 | láminas | ₡ 216 000 | ₡ 31 000 | ₡ 5 000 | ₡ 252 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 348 000 | ₡ 60 000 | ₡ 20 000 | ₡ 428 000 |
| 8 | Puertas | | | | | | |
| | Marcos de madera puertas internas | 18,00 | m | ₡ 30 500 | ₡ 6 000 | ₡ 1 000 | ₡ 37 500 |
| | Puertas internas de madera | 3,00 | ud | ₡ 108 000 | ₡ 8 000 | ₡ 2 500 | ₡ 118 500 |
| | Marcos de madera puertas externas | 18,00 | m | ₡ 30 500 | ₡ 6 000 | ₡ 1 000 | ₡ 37 500 |
| | Puertas externas de madera | 6,93 | m2 | ₡ 208 000 | ₡ 11 500 | ₡ 2 500 | ₡ 222 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 377 000 | ₡ 31 500 | ₡ 7 000 | ₡ 415 500 |
| 9 | Ventanas | | | | | | |
| | Ventanas de vidrio con marcos de aluminio | 5,60 | m2 | ₡ 212 500 | ₡ 67 000 | ₡ 5 000 | ₡ 284 500 |
| | Subtotal | | | ₡ 212 500 | ₡ 67 000 | ₡ 5 000 | ₡ 284 500 |
| 10 | Cerrajería | | | | | | |
| | Llavines corrientes | 3,00 | ud | ₡ 15 000 | ₡ 5 000 | ₡ 2 500 | ₡ 22 500 |
| | Cerradura p/ seguridad: puertas y ventanas | 11,00 | ud | ₡ 110 000 | ₡ 14 500 | ₡ 2 500 | ₡ 127 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 125 000 | ₡ 19 500 | ₡ 5 000 | ₡ 149 500 |
| 11 | Muebles | | | | | | |
| | Encimera de madera | 1,00 | ud | ₡ 50 000 | ₡ 5 000 | ₡ 1 000 | ₡ 56 000 |
| | Fregadero de sobreponeer | 1,00 | ud | ₡ 20 000 | ₡ 2 500 | ₡ 1 000 | ₡ 23 500 |
| | Grifos | 3,00 | ud | ₡ 30 000 | ₡ 7 500 | ₡ 1 000 | ₡ 38 500 |
| | Pila de lavar ropa (hormigón) | 1,00 | ud | ₡ 40 000 | ₡ 10 000 | ₡ 5 000 | ₡ 55 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 140 000 | ₡ 25 000 | ₡ 8 000 | ₡ 173 000 |
| 12 | Instalación Sanitaria | | | | | | |
| | Inodoro de bajo consumo (doble descarga) | 1,00 | ud | ₡ 60 000 | ₡ 5 000 | ₡ 2 500 | ₡ 67 500 |
| | Lavatorio con mueble | 1,00 | ud | ₡ 60 000 | ₡ 2 500 | ₡ 2 500 | ₡ 65 000 |
| | Tubo PVC 50 mm | 9,00 | m | ₡ 14 500 | ₡ 2 500 | ₡ 1 000 | ₡ 18 000 |
| | Tubo PVC 100 mm | 6,00 | m | ₡ 19 000 | ₡ 2 000 | ₡ 1 000 | ₡ 22 000 |
| | Sifón de Concreto | 1,00 | Global | ₡ 7 000 | ₡ 2 500 | ₡ 500 | ₡ 10 000 |
| | Cajas de registro | 1,00 | ud | ₡ 7 000 | ₡ 2 500 | ₡ 500 | ₡ 10 000 |
| | Trampa de grasa | 2,00 | ud | ₡ 14 000 | ₡ 5 000 | ₡ 1 000 | ₡ 20 000 |
| | Tanque séptico tipo Amanco | 1,00 | ud | ₡ 265 000 | ₡ 2 500 | ₡ 5 000 | ₡ 272 500 |
| | Drenajes | 15,00 | m | ₡ 120 000 | ₡ 39 000 | ₡ 1 000 | ₡ 160 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 566 500 | ₡ 63 500 | ₡ 15 000 | ₡ 645 000 |
| 13 | Instalación Agua potable | | | | | | |
| | Fontanería: tuberías y accesorios | 1,00 | Global | ₡ 75 000 | ₡ 47 000 | ₡ 2 500 | ₡ 124 500 |
| | Subtotal | | | ₡ 75 000 | ₡ 47 000 | ₡ 2 500 | ₡ 124 500 |
| 14 | Instalación Eléctrica | | | | | | |
| | Acometida | 1,00 | Global | ₡ 19 500 | ₡ 73 000 | ₡ 5 000 | ₡ 97 500 |
| | Cableado | 1,00 | Global | ₡ 182 500 | ₡ 48 500 | ₡ 10 000 | ₡ 241 000 |
| | Entubado y accesorios | 1,00 | Global | ₡ 69 000 | ₡ 18 500 | ₡ 4 000 | ₡ 91 500 |
| | Apagadores, tomas, plafones, lamparas LED | 1,00 | Global | ₡ 118 000 | ₡ 31 500 | ₡ 5 000 | ₡ 154 500 |
| | Caia de interruptures (12 espacios) | 1,00 | Global | ₡ 71 000 | ₡ 19 000 | ₡ 5 000 | ₡ 95 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 460 000 | ₡ 190 500 | ₡ 29 000 | ₡ 679 500 |
| 15 | Otros | | | | | | |
| | Limpieza final | 1,00 | global | | ₡ 6 500 | ₡ 2 500 | ₡ 9 000 |
| | Subtotal | | | ₡ - | ₡ 6 500 | ₡ 2 500 | ₡ 9 000 |
| 16 | Total componentes obligatorios | | | ₡ 4 208 500 | ₡ 973 500 | ₡ 189 000 | ₡ 5 371 000 |

Figura 21: Presupuesto de componentes obligatorios (2)

6.2.3. PRESUPUESTO DE COMPONENTES UNIDIMENSIONALES

La mayor parte de los recursos se invierte en la satisfacción de las necesidades obligatorias. Los componentes unidimensionales son tantos como las limitaciones presupuestarias del proyecto. Por lo tanto, es imposible cubrirlos en su totalidad.

En esta sección se analiza el rendimiento económico de las componentes funcionales. Lo que se busca es optimizar el uso del presupuesto disponible, de forma que se incluyan en el diseño los componentes funcionales que alcanzan un mayor nivel de satisfacción del propietario por unidad de dinero invertida en su implementación.

Lo primero que se hace es calcular el monto disponible para la construcción de los componentes unidimensionales, lo cual se presenta en la tabla 4.

Tabla 4: Presupuesto disponible componentes unidimensionales

| | |
|--|------------------|
| Presupuesto Disponible para la Construcción | ₡ 6 130 000 |
| Total Costos Componentes Obligatorios | ₡ 5 371 000 |
| Presupuesto Disponible Componentes Unidimensionales | ₡ 759 000 |

Para optimizar el uso del presupuesto disponible, debe realizarse un análisis de costos que compare el rendimiento económico de los componentes funcionales unidimensionales. Lo que se busca es introducir en el proceso de ingeniería un modo sistemático para la selección de las características de ingeniería más ventajosas.

El despliegue de calidad realizado en la sección 5.2, califica el nivel de satisfacción que cada componente funcional aporta al propietario. Estos datos, combinados con el costo económico que implica la implementación de cada uno de los componentes funcionales, permiten conocer la inversión económica que se requiere para lograr un punto de satisfacción del propietario, lo cual representa el rendimiento económico de cada componente funcional.

En la figura 22 se calcula el costo económico que significa la implementación de cada uno de los componentes unidimensionales identificados como de mayor importancia. Conforme a lo esperado, se puede observar que el presupuesto disponible es mucho menor al necesario para implementar todos los componentes unidimensionales considerados.

En la tabla 5 se presenta el cálculo del rendimiento económico de los componentes unidimensionales, lo que se hace es dividir el costo económico de la implementación de cada componente funcional, entre los puntos de satisfacción que el componente funcional logra de acuerdo con los resultados obtenidos en la sección 5.2.

Los componentes funcionales que requieran una menor inversión económica para alcanzar un punto de satisfacción al propietario son los que tienen mayor rendimiento económico. Por lo tanto, se debe priorizar la implementación de estos. Mediante esta metodología se logra seleccionar los componentes funcionales que se incluyen en proyecto, sin caer en los errores que una selección “a ciegas” pueda ocasionar.

DISEÑO SOSTENIBLE DE UNA VIVIENDA DE BIEN SOCIAL EN COSTA RICA

| RUBRO | DESCRIPCION | Cantidad | Unidad | Materiales | Mano de Obra | Equipo y Transporte | Total |
|-----------|--|----------|--------|------------|--------------|---------------------|-------------|
| 1 | Tapicheles externos | | | | | | |
| | Tapicheles externos (fibrocemento 10mm) | 5,95 | m2 | ₡ 29 500 | ₡ 2 500 | ₡ 1 000 | ₡ 33 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 29 500 | ₡ 2 500 | ₡ 1 000 | ₡ 33 000 |
| 2 | Puertas de vidrio (monto adicional) | | | | | | |
| | Puertas externas de vidrio con marcos de aluminio | 6,93 | m2 | ₡ 86 500 | ₡ 9 000 | ₡ 5 000 | ₡ 100 500 |
| | Subtotal | | | ₡ 86 500 | ₡ 9 000 | ₡ 5 000 | ₡ 100 500 |
| 3 | Longitud adicional de aleros (65 cm) | | | | | | |
| | Tubo estructural (100 mm x 100 mm x 1,5 mm) | 4,20 | ml | ₡ 14 500 | ₡ 3 000 | ₡ 1 000 | ₡ 18 500 |
| | Cubierta HG #28 | 5,11 | m2 | ₡ 18 000 | ₡ 3 000 | ₡ 2 000 | ₡ 23 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 32 500 | ₡ 6 000 | ₡ 3 000 | ₡ 41 500 |
| 4 | Rejillas de ventilación | | | | | | |
| | Rejillas de ventilación | 2,22 | m2 | ₡ 30 000 | ₡ 15 000 | ₡ 5 000 | ₡ 50 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 30 000 | ₡ 15 000 | ₡ 5 000 | ₡ 50 000 |
| 5 | Aislante térmico en el techo | | | | | | |
| | Aislante térmico (10mm) | 44,53 | m2 | ₡ 218 000 | ₡ 35 500 | ₡ 5 000 | ₡ 258 500 |
| | Subtotal | | | ₡ 218 000 | ₡ 35 500 | ₡ 5 000 | ₡ 258 500 |
| 6 | Presencia de tragaluz | | | | | | |
| | Láminas traslúcidas acrílicas | 8,91 | global | ₡ 9 000 | ₡ 1 000 | ₡ 1 000 | ₡ 11 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 9 000 | ₡ 1 000 | ₡ 1 000 | ₡ 11 000 |
| 7 | Aceras (pilas 5m2) | | | | | | |
| | Material de grava (20 cm espesor) | 1,00 | m3 | ₡ 5 000 | ₡ 2 500 | ₡ 2 500 | ₡ 10 000 |
| | Hormigón de losa | 0,38 | m3 | ₡ 32 000 | ₡ 10 000 | ₡ 5 000 | ₡ 47 000 |
| | Malla Electrosoldada | 5,00 | m2 | ₡ 7 000 | ₡ 1 000 | ₡ 5 000 | ₡ 13 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 44 000 | ₡ 13 500 | ₡ 12 500 | ₡ 70 000 |
| 8 | Cielos raso | | | | | | |
| | Tablilla plástica | 44,53 | m2 | ₡ 178 000 | ₡ 78 000 | ₡ 5 000 | ₡ 261 000 |
| | Estructura de aluminio | 44,53 | m2 | ₡ 57 500 | ₡ 15 500 | ₡ 5 000 | ₡ 78 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 235 500 | ₡ 93 500 | ₡ 10 000 | ₡ 339 000 |
| 9 | Enchapes en el baño | | | | | | |
| | Azulejos | 7,32 | m2 | ₡ 40 000 | ₡ 15 000 | ₡ 3 000 | ₡ 58 000 |
| | Morteros | 1,00 | global | ₡ 20 000 | ₡ 5 000 | ₡ 1 000 | ₡ 26 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 60 000 | ₡ 20 000 | ₡ 4 000 | ₡ 84 000 |
| 10 | Tapicheles internos | | | | | | |
| | Tapicheles Internos (gypsum 6mm) | 14,88 | m2 | ₡ 33 000 | ₡ 7 000 | ₡ 2 500 | ₡ 42 500 |
| | Subtotal | | | ₡ 33 000 | ₡ 7 000 | ₡ 2 500 | ₡ 42 500 |
| 11 | Pintura | | | | | | |
| | Pintura externa | 50,61 | m2 | ₡ 60 500 | ₡ 40 000 | ₡ 2 000 | ₡ 102 500 |
| | Pintura interna | 125,03 | m2 | ₡ 150 000 | ₡ 95 000 | ₡ 5 000 | ₡ 250 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 210 500 | ₡ 135 000 | ₡ 7 000 | ₡ 352 500 |
| 12 | Verjas en ventanas | | | | | | |
| | Verjas en ventanas | 5,60 | m2 | ₡ 95 000 | ₡ 60 000 | ₡ 10 000 | ₡ 165 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 95 000 | ₡ 60 000 | ₡ 10 000 | ₡ 165 000 |
| 13 | Luminarias en el exterior (4 unidades) | | | | | | |
| | Instalación eléctrica y accesorios | 1,00 | global | ₡ 45 000 | ₡ 19 000 | ₡ 3 000 | ₡ 67 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 45 000 | ₡ 19 000 | ₡ 3 000 | ₡ 67 000 |
| 14 | Altura del nivel de cielo raso (Aumento 30 cm) | | | | | | |
| | Estructura de acero | 1,00 | global | ₡ 120 000 | ₡ 15 000 | ₡ 2 000 | ₡ 137 000 |
| | Láminas de paredes livianas | 1,00 | global | ₡ 60 000 | ₡ 12 000 | ₡ 2 000 | ₡ 74 000 |
| | Subtotal | | | ₡ 180 000 | ₡ 27 000 | ₡ 4 000 | ₡ 211 000 |
| 15 | Total Componentes Unidimensionales Considerados | | | | | | ₡ 1 825 500 |

Figura 22: Presupuesto de componentes unidimensionales

Tabla 5: Costo económico de puntos de importancia de componentes funcionales

| Componente de calidad | Costo estimado | Puntos de importancia | Costo por puntos de importancia |
|--|----------------|-----------------------|---------------------------------|
| Tapicheles externos | ₺ 33 000 | 373,7 | ₺88 |
| Puertas de vidrio (monto adicional) | ₺ 100 500 | 373,3 | ₺269 |
| Longitud adicional de aleros (65 cm) | ₺ 41 500 | 253,8 | ₺164 |
| Aislante térmico en el techo | ₺ 258 500 | 250,3 | ₺1 033 |
| Rejillas de ventilación | ₺ 50 000 | 234,1 | ₺214 |
| Presencia de tragaluz | ₺ 11 000 | 171,9 | ₺64 |
| Aceras (pilas 5m2) | ₺ 70 000 | 148,2 | ₺472 |
| Cielos raso | ₺ 339 000 | 136,3 | ₺2 487 |
| Enchapes en el baño | ₺ 84 000 | 124,0 | ₺677 |
| Tapicheles internos | ₺ 42 500 | 109,3 | ₺389 |
| Pintura externa | ₺ 102 500 | 96,6 | ₺1 061 |
| Verjas en ventanas | ₺ 165 000 | 95,8 | ₺1 722 |
| Luminarias en el exterior (4 unidades) | ₺ 67 000 | 83,5 | ₺802 |
| Altura del nivel de cielo raso (Aumento 30 cm) | ₺ 211 000 | 81,4 | ₺2 592 |
| Pintura interna | ₺ 250 000 | 55,3 | ₺4 521 |

Como se puede observar, existen algunos componentes funcionales que permiten lograr puntos de importancia a un muy bajo costo, mientras que otros requieren de una inversión mucho más elevada. El tragaluz a pesar de que no es el componente de mayor importancia sí es el que tiene un mejor rendimiento económico para la satisfacción de las necesidades del propietario, gracias al bajo costo económico que presenta.

Tabla 6: Selección de componentes unidimensionales a implementar

| Componente de calidad | Costo por puntos de importancia | Costo estimado | Presupuesto restante |
|--|---------------------------------|----------------|----------------------|
| Presupuesto total disponible | | | ₺ 759 000 |
| Presencia de tragaluz | ₺ 64 | ₺ 11 000 | ₺ 748 000 |
| Tapicheles externos | ₺ 88 | ₺ 33 000 | ₺ 715 000 |
| Longitud adicional de aleros (65 cm) | ₺ 164 | ₺ 41 500 | ₺ 673 500 |
| Rejillas de ventilación | ₺ 214 | ₺ 50 000 | ₺ 623 500 |
| Puertas de vidrio (monto adicional) | ₺ 269 | ₺ 100 500 | ₺ 523 000 |
| Tapicheles internos | ₺ 389 | ₺ 42 500 | ₺ 480 500 |
| Aceras (pilas 5m2) | ₺ 472 | ₺ 70 000 | ₺ 410 500 |
| Enchapes en el baño | ₺ 677 | ₺ 84 000 | ₺ 326 500 |
| Luminarias en el exterior (4 unidades) | ₺ 802 | ₺ 67 000 | ₺ 259 500 |
| Aislante térmico en el techo | ₺ 1 033 | ₺ 258 500 | ₺ 1 000 |
| Pintura externa | ₺ 1 061 | ₺ 102 500 | -₺ 101 500 |
| Verjas en ventanas | ₺ 1 722 | ₺ 165 000 | -₺ 266 500 |
| Cielos raso | ₺ 2 487 | ₺ 339 000 | -₺ 605 500 |
| Altura del nivel de cielo raso (Aumento 30 cm) | ₺ 2 592 | ₺ 211 000 | -₺ 816 500 |
| Pintura interna | ₺ 4 521 | ₺ 250 000 | -₺ 1 066 500 |

En la tabla 6, se determinan los componentes de calidad a implementar en la vivienda, los cuales han sido ordenados de mayor a menor rendimiento económico para la satisfacción de las necesidades del propietario. Los de mayor rendimiento económico son incluidos al proyecto, hasta agotar todo el presupuesto disponible.

6.3. PROCESO CONSTRUCTIVO

Con el análisis económico y el despliegue de costos elaborado en la sección anterior, queda definido cada uno de los componentes y materiales que forman parte del diseño, por lo que la vivienda queda completamente diseñada. En esta sección se describe el proceso constructivo de la vivienda y se presenta el cronograma de labores a desarrollar.

- ✓ La obra inicia con la elaboración de los elementos de la estructura de acero, esta actividad debe desarrollarse en un taller de soldadura especializado. Para realizar esta tarea se requiere de un soldador y un ayudante. Este mismo equipo de trabajo debe ser el encargado de la elaboración de las rejillas de acero. Cada elemento debe ser recibido con dos manos de pintura antioxidante. Las dimensiones exactas de cada elemento se presentan en anexos.
- ✓ La elaboración de ventanas y puertas de aluminio también debe desarrollarse en un taller especializado. La actividad requiere de un vidriero artesano y de un ayudante. Cada ventana y cada puerta debe recibirse completamente lista para su instalación.
- ✓ La elaboración de las armaduras para las placas de cimentación, se realizan en un taller externo al sitio de la obra, por un equipo de trabajo dedicado exclusivamente a estas labores y conformado por un albañil y un peón. Para la recepción de estos elementos debe prestarse atención en los amarres, los cuales deben estar firmes. Durante el transporte cada armadura debe colocarse en posición horizontal, una posición distinta puede dañar el elemento y demandar trabajos adicionales de enmienda.
- ✓ Los elementos descritos en los párrafos anteriores deben ser transportados hasta el sitio de las obras. Debe realizarse un único desplazamiento con todos los elementos mencionados, para lo cual se requiere de una furgoneta con una longitud mínima de 6 m. De la misma forma deberán transportarse el resto de los materiales necesarios para la construcción.
- ✓ A partir de este punto inician las labores en el sitio de la obra, las cuales están a cargo de un maestro de obras, un albañil y dos peones. Este equipo de trabajo debe encargarse de todas las labores siguientes, a excepción de la instalación eléctrica, para lo cual se requiere de un electricista y un ayudante. Respecto a la actividad de la chorrea de las cimentaciones y de la losa de contrapiso, es importante resaltar que el hormigón es premezclado, por lo que al equipo de trabajo le corresponde únicamente encargarse de la chorrea y de controlar su fraguado mediante el humedecimiento con agua.
- ✓ Las instalaciones mecánicas se realizan durante el tiempo de fraguado de la losa de contrapiso, la tarea más laboriosa de esta actividad es la excavación. Los accesorios y el tanque séptico son de fácil instalación. Las instalaciones eléctricas las lleva a cabo un personal especializado, la realización de estas tareas no perjudica el avance de labores por parte del equipo de trabajo permanente del sitio de la obra.
- ✓ Para la estructura de acero se ha preferido el sistema prefabricado, debido a la ventaja en cuanto a control de calidad que ofrece y a la velocidad de instalación en el sitio de la obra. La instalación completa se realiza mediante la unión con tornillos y cada elemento es manejable con un máximo de dos personas, gracias a sus dimensiones y peso. Para la instalación de las láminas de las paredes livianas la cantidad de cortes a realizar es

mínima, debido a que en su mayoría se colocan completas o cortadas por la mitad, lo que agiliza las labores de construcción.

- ✓ La instalación del aislante térmico en el techo se realiza sobre los clavadores debido a la facilidad de instalación que este método representa y a la fiabilidad que representa el uso de este método. El aislante térmico no se ubicará en la zona de tragaluz, debido a que impediría el paso de la luz y a que la apertura en el techo ubicada por debajo del tragaluz favorece la ventilación de la zona del tragaluz e impide sobrecalentamiento que perjudiquen la temperatura interna de la vivienda.

La figura 23 muestra el cronograma de labores para la construcción de una vivienda, como se puede ver el total para la construcción de una vivienda es de 17 días. En verde se indican las obras que pueden desarrollarse fuera del sitio de la obra.

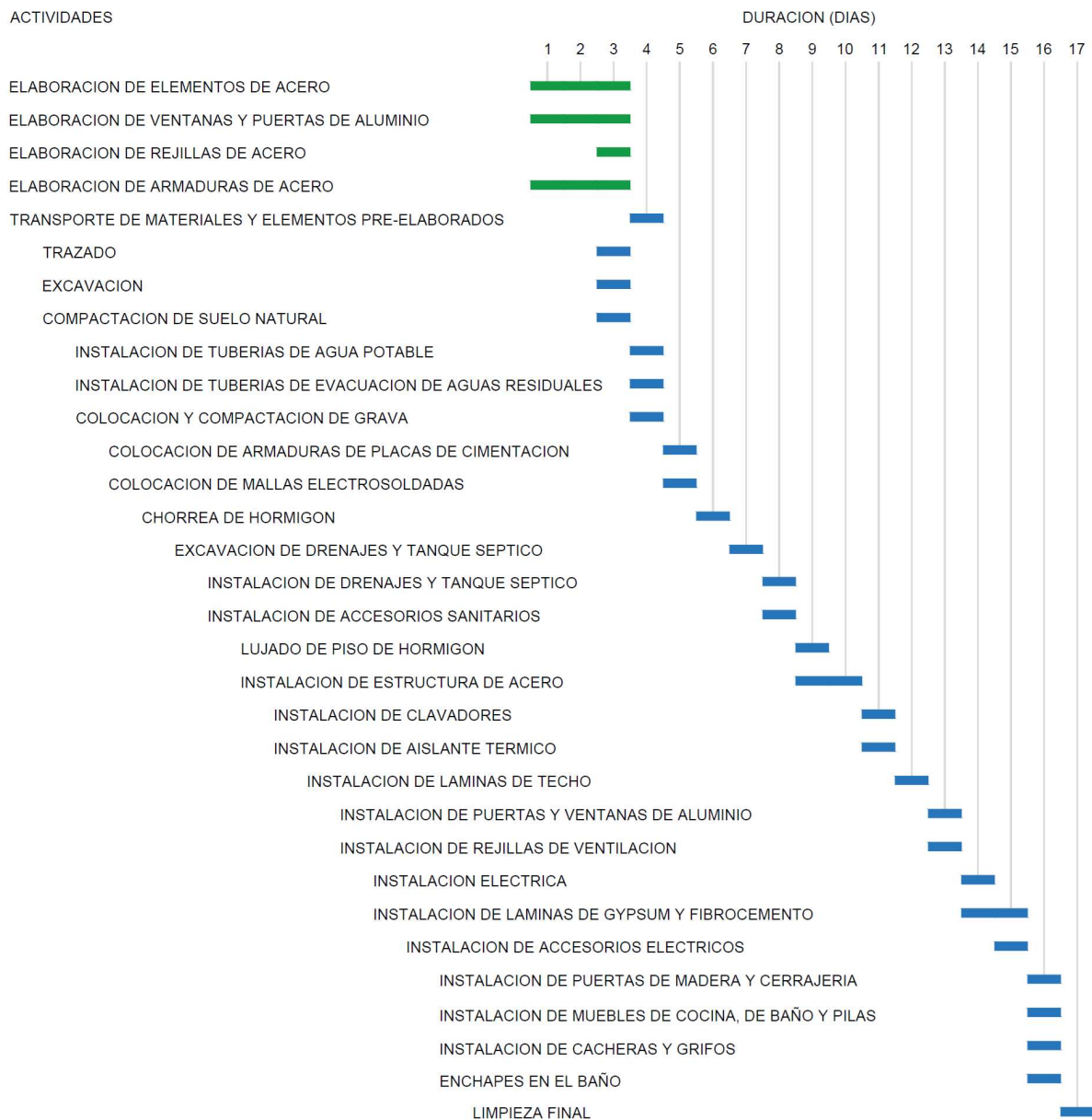


Figura 23: Programación de obra

7. CONCLUSIONES

7.1. CONCLUSIONES SOBRE EL MÉTODO USADO

La sostenibilidad se logra mediante productos que puedan mantenerse como líderes en el mercado durante el mayor tiempo posible, esto lo logran únicamente los productos de alta calidad. La innovación es una de las características principales de los productos de alta calidad, dentro de un proceso de construcción la innovación es más eficiente sí se lleva a cabo desde el principio del proyecto. QFD es una herramienta diseñada para generar productos de máxima calidad, basándose en la toma de decisiones innovadoras desde las primeras etapas del proyecto.

Este documento plantea una metodología que introduce en el diseño de ingeniería, la priorización de las características de la vivienda que ofrecen mayores beneficios para el propietario. Esto permite justificar cada característica en la que se invierte y evitar el desperdicio de recursos. Sin embargo, el método debe complementarse con conocimientos y experiencia en el sector de la construcción, solo de esta forma pueden lograrse la labor innovadora del método.

La investigación desarrollada ha demostrado que el Modelo Kano es una herramienta que complementa a QFD. Conocer en qué medida cada característica de la vivienda influye en el nivel de calidad que su propietario percibe y al mismo tiempo en su satisfacción, permite la elaboración de distintas metodologías para el tratamiento de cada tipo de necesidad. Dar a todas las necesidades el mismo trato, genera problemas que interfieren en el correcto funcionamiento de QFD.

En el presente documento se ha evidenciado la importancia primordial de determinar acertadamente las necesidades del propietario y sus niveles de importancia cuando se utiliza el método del despliegue de funciones de calidad, ya que esta información incide directamente en los resultados. De la misma forma, se ha comprobado que es fundamental diseñar una metodología acorde al proyecto que se pretenda desarrollar, esto mejora el aprovechamiento de QFD y las ventajas relacionadas con su uso.

Con el desarrollo de la investigación se ha logrado comprobar la utilidad y potencia de QFD como método sistemático para identificar las necesidades reales del propietario y a partir de ellas elaborar el diseño de una vivienda que logre optimizar el uso de los recursos disponibles y maximizar la satisfacción del propietario. QFD no quita importancia al equipo profesional de diseñadores, sino más bien es una herramienta de apoyo que les permite tomar en consideración elementos que de otra forma podrían pasar inadvertidos.

Un diseño sostenible como el elaborado en el presente documento, permite a las empresas un posicionamiento comercial privilegiado. Esto, considerando la intensidad actual de la competencia, es una ventaja que ninguna empresa puede despreciar. QFD además permite dar seguimiento al diseño, por lo que puede permitir la mejora continua de la vivienda. Esto asegura diseños capaces de mantener la satisfacción del cliente a pesar de cambios en sus conductas sociales, por lo que se espera una preferencia del cliente hacia la empresa. Por lo tanto, la competitividad de la empresa puede asegurarse a lo largo del tiempo.

7.2. CONCLUSIONES SOBRE LOS RESULTADOS FINALES

Los resultados de la investigación permiten obtener un diseño que satisface los requisitos de calidad de mayor importancia para el propietario, considerando sus necesidades actuales y futuras. Esta investigación cobra aún más importancia considerando la cantidad de proyectos de Bono Familiar de Vivienda que se desarrollan cada año, el bajo nivel económico de las familias que se ven favorecidas y el tipo de necesidad de que se trata, que corresponde a una de las necesidades más básicas y fundamentales, como lo es una vivienda.

La cantidad de recursos económicos disponibles para este tipo de proyectos es sumamente limitada, por lo que es de esperarse que algunas de las necesidades del propietario no logren solventarse, lo que perjudica su satisfacción. Mediante la metodología aplicada se priorizan las necesidades más importantes y se dirigen los recursos directamente hacia los elementos de mayor importancia para la satisfacción del propietario, lo que se favorece su aprovechamiento.

7.3. RECOMENDACIONES

A cualquier empresa constructora que pretenda utilizar este diseño o este método de diseño, se le recomienda estudiar detalladamente la herramienta QFD y todos los pasos seguidos para la elaboración del diseño, para lo cual se recomienda contar con un departamento dedicado a la revisión de calidad. Toda aplicación de QFD debe mantenerse en constante revisión, de forma que se pueda identificar cualquier cambio en la conducta del cliente que pueda alterar los niveles de satisfacción alcanzados por el producto.

Se recomienda realizar entrevistas a las familias beneficiarias del Bono Familiar de Vivienda, con el fin de revisar que las necesidades del propietario y sus niveles de importancia relativa concuerden con las consideradas en la investigación. De la misma forma, se recomienda realizar entrevistas posteriores a la construcción de la vivienda, para dar seguimiento a los propietarios y comprobar que los niveles de satisfacción del propietario sean acordes a los esperado.

Ningún proyecto de construcción es igual a otro, así dos viviendas tengan el mismo diseño cada proyecto tendrá peculiaridades que le distinguen del resto, en este proyecto se hacen suposiciones que permiten generar un único diseño para muchos proyectos distintos. Esto no quiere decir que la metodología aplicada en esta investigación sea funcional para todo proyecto de diseño de vivienda. Para nuevos estudios, se recomienda revisar y adaptar la metodología al proyecto específico, de forma que se maximice el aprovechamiento de la herramienta QFD.

El diseño realizado presenta las mayores ventajas cuando es desarrollado en serie, preferiblemente por medio de una empresa constructora que tenga la capacidad de contar con cuadrillas especializadas en cada una de las áreas de trabajo. Lo anterior no quiere decir que el diseño no funcione cuando sea desarrollado de forma aislada, pero los costos económicos podrían variar en función de las dificultades con que se cuente para cumplir con la planificación de las obras.

7.4. LÍNEAS A FUTURO

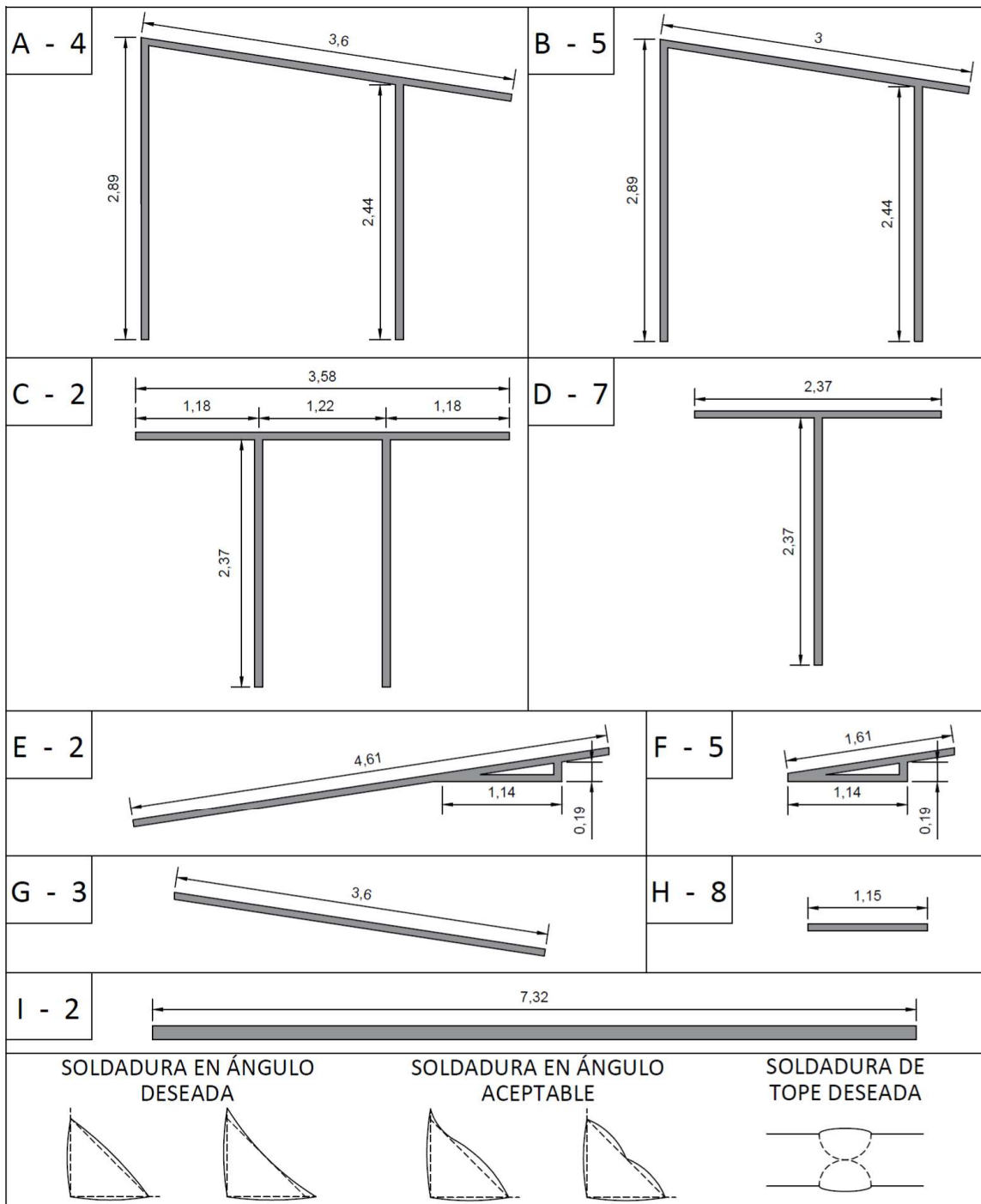
Aunque esta investigación se enfoca en las viviendas de bono para sectores de altas temperaturas de Costa Rica, es posible desarrollar un diseño para los sectores más fríos. Debido a las diferencias de temperatura, es de esperar una variación en las necesidades de los propietarios de la vivienda, principalmente en cuanto a las necesidades unidimensionales y sus niveles de importancia, con lo que se tendrán nuevos componentes funcionales y diseños distintos a los obtenidos en esta investigación.

La metodología desarrollada en esta investigación puede complementarse con la implementación de un despliegue de fiabilidad. Este se elabora a partir de los reclamos presentados por los propietarios de las viviendas, los cuales pueden recopilarse por medio de encuestas. Esto permite identificar los fallos que pueda presentar la vivienda, sus causas y evaluar la importancia de los fallos, con lo que se pueden elaborar planes de control de calidad que permitan mejorar el diseño y la satisfacción de los propietarios de la vivienda.

QFD es una herramienta que ha ido extendiéndose hacia cada vez más aplicaciones, el sector de la construcción no es la excepción. Sin embargo, en la actualidad existen pocas publicaciones al respecto, las cuales estudian distintos problemas a lo largo de todo el mundo. Lo que demuestra que a pesar de que la herramienta tiene potencial, aún se encuentra en una etapa de divulgación y desarrollo, por lo que las empresas constructoras que dediquen esfuerzos a la investigación y aplicación de QFD tendrán una ventaja importante respecto a la competencia, ya que se ha demostrado su eficiencia para aumentar la satisfacción del cliente y por tanto el éxito de la empresa.

ANEXOS

ANEXO 1: ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA DE ACERO



Notas:

La letra se utiliza como distintivo del elemento, mientras que el número indica la cantidad total de elementos que se requieren para la construcción de la vivienda.

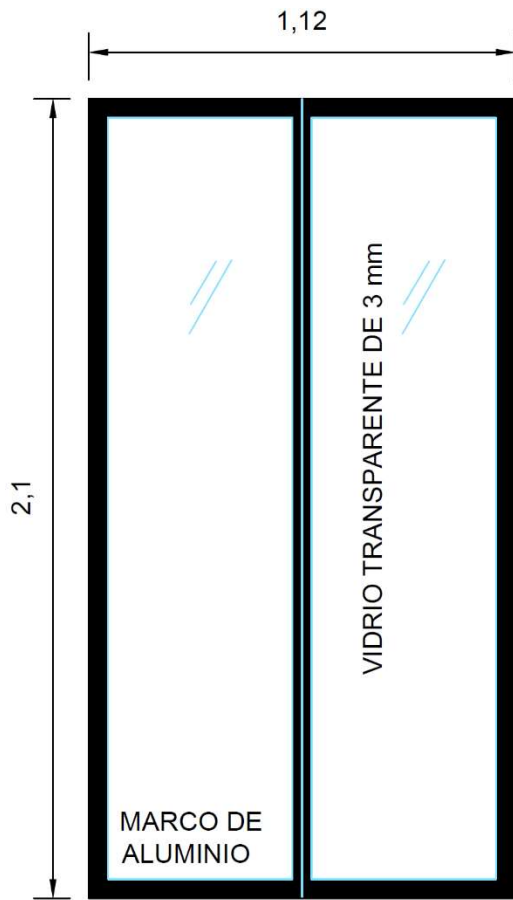
Todas las medidas son en metros.

Escala 1:62.5

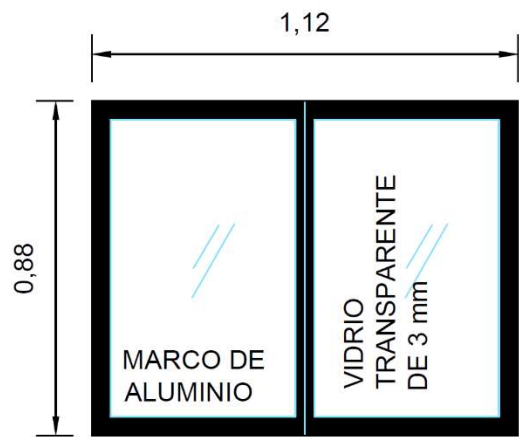
Los perfiles de acero son en forma de cuadro de 100 mm x 100 mm x 1,5 mm. Excepto el elemento I, que debe ser 50 mm x 150 mm x 15 mm. Todo debe cumplir con la norma ASTM-36.

Soldadura con electrodos E-70. La soldadura debe protegerse con pintura anticorrosiva.

ANEXO 2: DETALLES DE PUERTAS, VENTANAS Y REJILLAS

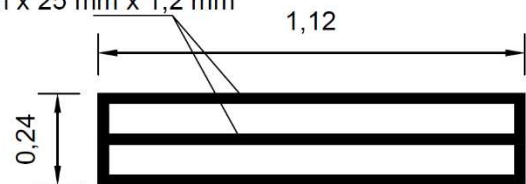


PUERTAS
ESCALA 1:20



VENTANAS
ESCALA 1:20

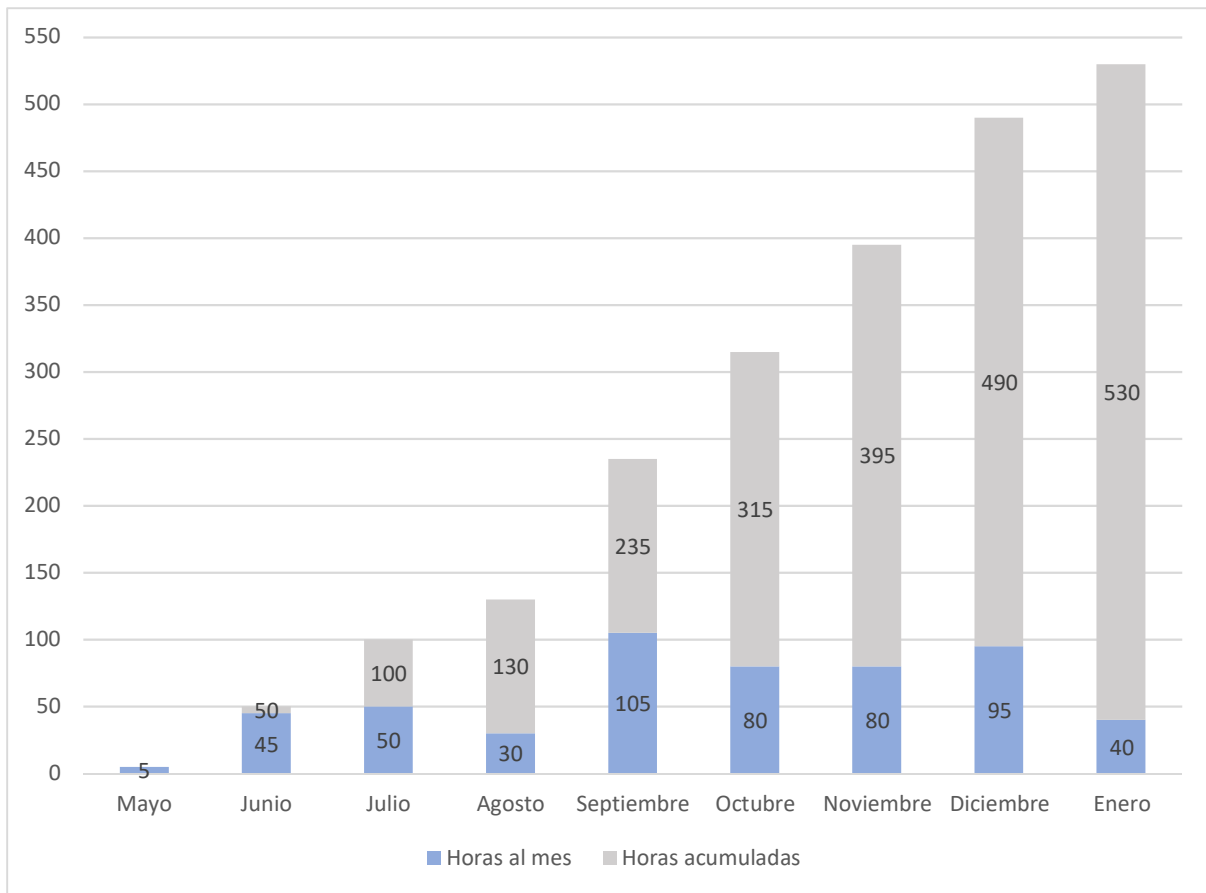
PERFILES DE ACERO
DE 50 mm x 25 mm x 1,2 mm



REJILLAS DE VENTILACION
ESCALA 1:20

ANEXO 3: CRONOGRAMA DE ELABORACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

ANEXO 4: TIEMPO INVERTIDO Y COSTO DE LA INVESTIGACIÓN



- ✓ El costo total de la investigación es de 10.600 €. Invertidos en un total de 530 horas profesionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akao, Y. (1997). QFD: past, present, and future. *International Symposium on QFD*, 97(2), 1–12.
- Akao, Y. (1990). *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into product design*, Cambridge, M.A: Productivity Press.
- Arnold, C. (2009). *Building Envelope Design Guide—Introduction. Des Guidance.*
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2012). *Código Sísmico de Costa Rica 2010*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- García, O. (2012). *Aplicación De La Metodología Lean Construction En La Vivienda De Interes Social*, 1–76.
- Gargione, L. A. (1999). Using Quality Function Deployment (QFD) in the Design Phase of an Apartment Construction Project. *7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (55), 357–368.
- Hauser, J. R., & Clausing, D. (1988). The house of quality. *Harvard Business Review*, (D), 63–73.
- Instituto Nacional de Viviendas y Urbanismo (INVU) (1987). *Reglamento de Construcciones del INVU*.
- Instituto Nacional de Viviendas y Urbanismo (INVU). *Normas Especiales de Construcción para Vivienda Progresiva y Conjuntos Residenciales*
- Jonker, G., & Harmsen, J. (2013). *Ingeniería para la sostenibilidad: guía práctica para el diseño sostenible*. Reverté.
- Karsak, E. E., Sozer, S., & Alptekin, S. E. (2003). Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach. *Computers & Industrial Engineering*, 44(1), 171–190.
- Kassela, K., Papalexi, M., & Bamford, D. (2017). Applying quality function deployment to social housing? *TQM Journal*, 29(3), 422–436.
- Lindsey R Gilbert. (2014). *an Inte Grated Q Fd and Axiomatic Design Methodology for the Satisfaction of Temp Orary Housing Stakeh Olders. Proceedings of ICAD2014.*
- Lockamy, A., & Khurana, A. (2013). *Quality function deployment: total quality management for new product design.*
- Marchesi, M., Fernandez, J. E., Dominik, M., & Sang-Gook, K. (2014). *ICAD - 2014 - 05 AXIOMATIC DESIGN APPROACH FOR THE CONCEPTUAL DESIGN OF SUSTAINABLE BUILDINGS*
- Matzler, K., & Hinterhuber, H. H. (1998). *How to make product development projects more*

- successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment. *Technovation*, 18(1), 25–38.
- Moghim, V., Jusan, M. B. M., Izadpanahi, P., & Mahdinejad, J. (2017). Incorporating user values into housing design through indirect user participation using MEC-QFD model. *Journal of Building Engineering*, 9(August 2016), 76–83.
- Mulder, K. (2007). *Desarrollo sostenible para ingenieros* (Vol. 172). Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.
- Nidumolu et al. (2009). Why Sustainability Is Now the Key Driver of Innovation. *Harvard Business Review Digital Articles*, (September), 1–14.
- Sepúlveda Mellado, O. (1986). El espacio en la vivienda social y calidad de vida. *Revista INVI*, 1(2), 10-34.
- Singhaputtangkul, N., Low, S. P., Teo, A. L., & Hwang, B. G. (2013). Knowledge-based decision support system quality function deployment (KBDSS-QFD) tool for assessment of building envelopes. *Automation in Construction*, 35, 314–328.
- Stehn, L., & Bergstro, M. (2002). Integrated design and production of multi-storey timber frame houses - production effects caused by custom-oriented design. *International Journal of Production Economics*, 77, 259–269.
- Wikberg, F., Ekholm, A., & Jensen, P. (2010). Configuration with architectural objects in industrialised house-building. *Cib W078 2009*, 341 - 350.
- Yacuzzi, E., & Martín, F. (2016). QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS.
- Yang, Y. Q., Wang, S. Q., Dulaimi, M., & Low, S. P. (2003). A fuzzy quality function deployment system for buildable design decision-makings. *Automation in Construction*, 12(4), 381–393.
- Zaidi, A. (1993). *QFD: Despliegue de la función de calidad*. Ediciones Díaz de Santos.

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Paradoja del proyecto y el desarrollo..... | 3 |
| Figura 2: Esquema general de QFD | 10 |
| Figura 3: Pasos específicos de QFD..... | 11 |
| Figura 4: Configuración típica de la Casa de la Calidad..... | 12 |
| Figura 5: Metodología a usar | 19 |
| Figura 6: Metodología para el despliegue de las necesidades obligatorias..... | 25 |
| Figura 7: Matriz de calidad para el despliegue de materiales | 31 |
| Figura 8: Despliegue de calidad de necesidades unidimensionales | 32 |
| Figura 9: Despliegue de elementos unidimensionales de calidad | 34 |
| Figura 10: Despliegue de componentes de calidad (1) | 38 |
| Figura 11: Despliegue de componentes de calidad (2) | 39 |
| Figura 12: Despliegue de materiales (1) | 42 |
| Figura 13: Despliegue de materiales (2) | 43 |
| Figura 14: Despliegue de calidad de necesidades atractivas..... | 45 |
| Figura 15: Distribución arquitectónica y fachadas frontal y trasera | 52 |
| Figura 16: Planta de techos y fachadas laterales | 53 |
| Figura 17: Planta de cimentaciones y detalles | 54 |
| Figura 18: Posibilidades de ampliación, planta estructural y detalles..... | 55 |
| Figura 19: Distribución mecánica y eléctrica..... | 56 |
| Figura 20: Presupuesto de componentes obligatorios (1) | 58 |
| Figura 21: Presupuesto de componentes obligatorios (2) | 59 |
| Figura 22: Presupuesto de componentes unidimensionales | 61 |
| Figura 23: Programación de obra | 64 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Dimensiones reglamentarias | 6 |
| Tabla 2: Necesidades del propietario | 24 |
| Tabla 3: Presupuesto disponible para el proyecto | 57 |
| Tabla 4: Presupuesto disponible componentes unidimensionales..... | 60 |
| Tabla 5: Costo económico de puntos de importancia de componentes funcionales | 62 |
| Tabla 6: Selección de componentes unidimensionales a implementar | 62 |

GLOSARIO

- ✓ Acometida: Es la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora de agua potable o electricidad hacia el medidor de la edificación o propiedad donde se hará uso del servicio.
- ✓ Aleros: Parte de la cubierta de los edificios que sobresale de la fachada.
- ✓ Bono Familiar de Vivienda: El bono familiar de vivienda es una donación que el estado costarricense, de forma solidaria, otorga a las familias de escasos recursos económicos y de clase media, familias en riesgo social o situaciones de emergencia, personas con discapacidad o ciudadanos adultos mayores, entre otros grupos sociales, para que, unido a su capacidad de crédito, puedan solucionar su problema habitacional.
- ✓ Cielo raso: Falso Techo de una habitación, liso y de material ligero, que se construye para reducir la altura y esconder conducciones, cableados, etc.
- ✓ Código Sísmico de Costa Rica: Es el documento costarricense que recoge, sintetiza y ordena las normas y prácticas del diseño sismo-resistente, producto del conocimiento científico, la praxis tecnológica, la experiencia de terremotos pasados y el sentido común, que orientan y guían al profesional responsable en procura de que las edificaciones y otras obras civiles que se diseñen y construyan de acuerdo con sus lineamientos, garanticen la vida de sus ocupantes, mantengan su integridad estructural y protejan los bienes que en ellas se alberguen, conforme a objetivos de desempeño previamente definidos.
- ✓ Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA): Es el organismo que regula la labor profesional de los distintos profesionales de la arquitectura y la ingeniería en la República de Costa Rica.
- ✓ Comisión de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo: Es una comisión que presentó el Informe Bruntland en 1987, el cual popularizó el término “desarrollo sostenible”.
- ✓ Componentes funcionales: Son componentes de la vivienda que cumplen funciones que permiten la satisfacción de las necesidades del propietario.
- ✓ Contrapiso: Es una capa de hormigón que se utiliza como mediador entre el terreno y el piso. En España se denomina solera.
- ✓ Criterios de diseño: Son criterios de ingeniería que deben considerarse en la etapa de diseño.
- ✓ Despliegue de Funciones de Calidad (QFD): Es un método de gestión de calidad basado en transformar las demandas del usuario en la calidad del diseño, implementar las funciones que aporten más calidad, e implementar métodos para lograr calidad del diseño en subsistemas y componentes.
- ✓ Diseño de máxima calidad: Es un diseño de alto desempeño y por lo tanto un diseño sostenible.

- ✓ Diseño modular: Es un enfoque donde se subdivide un sistema en partes más pequeñas llamadas módulos, lo que permite optimizar el tiempo de construcción.
- ✓ Edificio sostenible: Es un edificio que logra optimizar los beneficios ambientales, sociales y económicos.
- ✓ Elementos de calidad: Son elementos técnicos o de ingeniería que logran la satisfacción de las necesidades del propietario de la vivienda.
- ✓ Enchapes: Son recubrimientos o revestimientos que se aplican a diferentes elementos constructivos, como muros, escaleras, columnas, vigas etc.
- ✓ Informe Bruntland: Es el informe del cual surge por primera vez el término “desarrollo sostenible”.
- ✓ Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU): Es una institución pública del estado costarricense por medio de la cual se tramita el Bono Familiar de Vivienda y la encargada de reglamentar todo lo relativo a su obtención.
- ✓ Línea de montaje: Es un proceso de producción que descompone los trabajos de fabricación de un bien en pasos o etapas que se realizan en una secuencia predefinida
- ✓ Modelo Kano: Es una teoría de desarrollo de productos y de satisfacción al cliente, que clasifica las preferencias del cliente en categorías.
- ✓ Rejillas de ventilación: Son aberturas ubicadas en las paredes de las viviendas, que permiten la ventilación de su interior.
- ✓ Requisitos atractivos: Son requisitos que proporcionan satisfacción superlineal cuando se cumplen, pero cuando no se cumplen no hay sensación de insatisfacción.
- ✓ Requisitos obligatorios: Son requisitos que el cliente da por hechos, por lo tanto, sí no se cumplen, el cliente estará extremadamente insatisfecho. Sin embargo, como se dan por hechos, su cumplimiento no aumenta la satisfacción del cliente.
- ✓ Requisitos unidimensionales: Son requisitos donde la satisfacción del cliente es proporcional al nivel de cumplimiento. Entre mayor cumplimiento, mayor satisfacción y viceversa.
- ✓ Desarrollo sostenible: Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las propias.
- ✓ Tapicheles: Es el cerramiento del espacio que queda entre la viga corona y la cubierta.
- ✓ Viga corona: Es un elemento estructural de remate superior de una edificación. Sirve de amarre y transmite las cargas de la estructura de techo hacia las columnas.
- ✓ Vivienda de bien social: Es una vivienda para familias sin ingresos o con ingresos muy reducidos. Debe ser declarada como tal por el estado, por lo que debe cumplir con una normativa que describe sus características.