

**ANÁLISIS DE DESVIACIONES ASOCIADAS A LA POSICIÓN Y FORMA  
PRESENTADAS EN ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN ENCAMINADO A LA  
DETERMINACIÓN DE UMBRALES DE TOLERANCIA EN PROYECTOS DE  
VIVIENDA**

**ANA ISABEL ACEVEDO TABORDA**

Ingeniera civil

Trabajo de grado como requisito para optar al título de Magíster en Ingeniería

**Tutor**

**LUIS FERNANDO BOTERO BOTERO**

Arquitecto constructor

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA MODALIDAD PROFUNDIZACIÓN**

**MEDELLÍN**

**2020**

## **AGRADECIMIENTOS**

Me siento infinitamente agradecida con las personas que me acompañaron y apoyaron en este momento importante de mi vida. Primero, quiero agradecerles a mis padres, quienes con su amor y paciencia siempre me demostraron su apoyo incondicional para crecer profesionalmente y cumplir este sueño. A mi tutor Luis Fernando Botero y al profesor Alejandro Vásquez, quienes contribuyeron con su conocimiento en el proceso y me guiaron hasta el final de esta investigación. A mi asesor en analítica de datos, quien creyó en mí y siempre me motivó a seguir hacia adelante. Agradecerle además a la Universidad EAFIT, especialmente al Dr. Juan Luis Mejía Arango, y a cada uno de los integrantes del grupo de investigación en Gestión de la Construcción, quienes me alentaron hasta el final; y, por último, pero no menos importante, a ConstruGarantías y sus empresas participantes por permitirme usar sus bases de datos y abrirme sus puertas para desarrollar este proyecto.

## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	11
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
3	JUSTIFICACIÓN .....	14
4	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	15
4.1	Objetivo general .....	15
4.2	Objetivos específicos .....	15
5	MARCO TEÓRICO.....	16
5.1	Marco de referencia .....	16
5.1.1	Evolución de los sistemas de producción.....	16
5.1.2	Desarrollo de la calidad y su importancia a nivel industrial. ....	19
5.1.3	El concepto valor.....	22
5.1.4	Definición del concepto de tolerancia.....	22
5.1.5	La aparición de las tolerancias como necesidad de las industrias.....	23
5.1.6	Las tolerancias en el sector de la construcción de vivienda.....	25
5.1.7	El cliente, su satisfacción y participación en las etapas de construcción. ....	27
5.1.8	La definición de defecto y sus causas en el sector de la construcción .....	29
5.1.9	La definición de retrabajo y su equivalencia económica en el sector constructor de vivienda.....	32
5.2	Estado del arte .....	33
5.2.1	Literatura acerca de las tolerancias en el sector de la construcción. ....	33
5.2.2	Gestión de tolerancias .....	35

5.2.3	Tipos de tolerancias.....	37
5.2.4	Manuales de tolerancia.....	38
5.2.5	Otras metodologías para determinar umbrales de tolerancia. ....	48
5.2.6	Investigaciones existentes para el estudio de las capacidades de percepción del cliente en la industria de la construcción.....	50
5.2.7	Los reclamos posventa como consecuencia de la desviación no tolerable. ...	55
6	METODOLOGÍA.....	57
7	RESULTADOS.....	61
7.1	TOLERANCIAS CONSTRUCTIVAS CON BASE EN ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS SISTEMÁTICOS DE CONSTRUGARANTÍAS.....	61
7.1.1	Datos del Observatorio de Tolerancias de Construcción.....	61
7.2	LAS RECLAMACIONES POSVENTAS COMO APROXIMACIÓN PARA EL ESTUDIO DE LAS CAPACIDADES DE PERCEPCIÓN DEL CLIENTE.....	96
7.2.1	Datos de reclamaciones alojadas en el Observatorio Posventa.....	97
7.2.2	Asistencia a entregas de inmuebles.....	114
8	RECOMENDACIONES PARA EL ESTABLECIMIENTO CONFIABLE DE UMBRALES DE TOLERANCIA.....	124
8.1	Recomendaciones para las plataformas de ConstruGarantías.....	127
9	CONCLUSIÓN.....	128
10	FUTURAS INVESTIGACIONES.....	131
11	BIBLIOGRAFÍA.....	132

## Lista de figuras

Figura 1. Factores que dan paso a los defectos .....	30
Figura 2. Cantidad de documentos consultados.....	34
Figura 3. Número de publicaciones realizadas acerca del tema de tolerancias en la construcción en los años correspondientes. ....	35
Figura 4. Temática central de la literatura investigada .....	35
Figura 5. Distribución normal de mediciones tomadas en una actividad específica.....	44
Figura 6. Desviación sistemática entre el valor medio y el objetivo. ....	44
Figura 7. Distribución del baño. Considerando la dimensión funcional en diseño arquitectónico.....	49
Figura 8. Diferencias en los anchos entre juntas adyacentes. ....	53
Figura 9. Cómo la subjetividad afecta las intenciones objetivas.....	55
Figura 10. Tolerancias en las fases de construcción. ....	57
Figura 11. Histograma simétrico (Cielo-Acabado de placa-Texturizados (graniacril, graniplast, corev-Planeidad). ....	62
Figura 12. Histograma bimodal (Cielos-Acabado de placa-Estuco sobre placa de concreto-Horizontalidad). ....	62
Figura 13. Histograma asimétrico (Muro-Muro-Concreto-Verticalidad). ....	62
Figura 14. Histograma con datos atípicos (Cielos-Acabado de placa-Sin recubrimiento Horizontalidad). ....	63
Figura 15. Outliers combinación 3 y 4.....	68
Figura 16. Histograma con presencia de outliers y después de eliminar los outliers respectivamente de la combinación 16. ....	68
Figura 17. Código para el análisis de la combinación 2. ....	69
Figura 18. Histograma con outliers y detección de outliers con boxplot.....	69

Figura 19. Diagrama de barras y boxplot sin outliers. ....	69
Figura 20. DistributionFitter para combinación 16. ....	70
Figura 21. Gráficas QQ-Plot. ....	71
Figura 22. Carta de control para combinación 2 (Cielos-Acabado de placa-Estuco sobre placa de concreto-Escuadría). ....	75
Figura 23. Carta de control de individuales. ....	76
Figura 24. Carta de control de rangos móviles. ....	77
Figura 25. Combinación 12 (Cielos-Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles-Paneles de yeso-Horizontalidad) por niveles. ....	80
Figura 26. Carta de control para Combinación 12 (Cielos-Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles-Paneles de yeso-Horizontalidad). ....	80
Figura 27. Carta de control para combinación 16 (Cielos-Paneles masillados (terminado)-Yeso-Planeidad). ....	82
Figura 28. Carta de control para la combinación 17 (Cielos-Paneles masillados (emplacado)-Yeso-Horizontalidad) ....	83
Figura 29. Carta de control para la combinación 18 (Cielos-Paneles masillados (emplacado)-Yeso-Planeidad). ....	83
Figura 30. Zona de ropas vs. Alcoba1 (planeidad en estuco sobre placa de concreto). ....	85
Figura 31. Caso 18: Sala-Comedor Vs. Alcoba1 (planeidad en estuco sobre placa de concreto). ....	85
Figura 32. Caso 4: Sala-Comedor Vs. Alcoba1 (escuadría en acabado de placa con el material de estuco sobre placa de concreto). ....	86
Figura 33. Caso 173: Sala-Comedor Vs. Baño social (planeidad en paneles masillados (terminado) de drywall). ....	87
Figura 34. Paneles masillados (terminado) - Yeso (Drywall) – Planeidad. ....	89

Figura 35. Normalización de la combinación 2 (Cielos, acabado de placa, estuco sobre placa de concreto, escuadría) con outliers. ....	91
Figura 36. Normalización de la combinación 2 (Cielos, acabado de placa, estuco sobre placa de concreto, escuadría) sin outliers. ....	91
Figura 37. Variable resalto en piso de porcelanato. ....	97
Figura 38. Falta de alineación en salidas eléctricas. ....	99
Figura 39. Reclamaciones por daño (Observatorio Posventa). ....	101
Figura 40. Reclamaciones por tipología (Observatorio Posventa). ....	102
Figura 41. Reclamaciones por clasificación (Observatorio Posventa). ....	103
Figura 42. Reclamaciones por sistema constructivo (Observatorio). ....	103
Figura 43. Reclamaciones por elemento (Observatorio). ....	105
Figura 44. Reclamaciones por material (Observatorio Posventas). ....	106
Figura 45. Daño vs. Empresa (Observatorio Posventas). ....	107
Figura 46. Daño vs. Sistema constructivo (Observatorio Posventas). ....	108
Figura 47. Daño vs. Tipología (Observatorio Posventas). ....	108
Figura 48. Daño vs. Clasificación (Observatorio Posventas). ....	109
Figura 49. Daño vs. Elemento (Observatorio). ....	110
Figura 50. Daño vs. Material (Observatorio). ....	111
Figura 51. Falta de planeidad en cielo (se observan ondulaciones). ....	112
Figura 52. Falta de planeidad y verticalidad ....	113
Figura 53. Falta de verticalidad y rectitud. ....	113
Figura 54. Elemento de estructura incrustado en muro del inmueble. ....	120
Figura 55. Iluminación descentralizada. ....	120
Figura 56. Cajón descarrilado. ....	120
Figura 57. Flujograma recomendación para establecimiento de tolerancias. ....	126

## Lista de tablas

Tabla 1. <i>Clasificación de las tolerancias.</i> .....	38
Tabla 2. <i>Familia vs. Veces que se repite Imm con respecto a otros valores de desviación (Porcentaje).</i> .....	64
Tabla 3. <i>Variable vs. Veces que se repite Imm con respecto a otros valores de desviación (Porcentaje)</i> .....	65
Tabla 4. <i>Combinaciones Familia Cielo</i> .....	67
Tabla 5. <i>Media y varianza de las diferentes distribuciones.</i> .....	70
Tabla 6. <i>Test KS para las diferentes distribuciones</i> .....	71
Tabla 7. <i>Test Chi-cuadrado para las diferentes distribuciones.</i> .....	72
Tabla 8. <i>Comportamiento de para cada carta de control.</i> .....	79
Tabla 9. <i>Límites para la carta de control de la combinación 12 segmentada por niveles.</i> 81	
Tabla 10. <i>Análisis de valores estadísticos con outliers</i> .....	93
Tabla 11. <i>Análisis de valores estadísticos sin outliers</i> .....	94
Tabla 12. <i>Porcentaje daños general.</i> .....	98
Tabla 13. <i>Porcentaje daños de interés</i> .....	99
Tabla 14. <i>Descripciones de los acompañamientos realizados a entregas de algunos inmuebles de diferentes constructoras.</i> .....	117

## **RESUMEN**

La necesidad de establecer valores de tolerancia soportados en un análisis estadístico confiable, con los que será entregado y recibido un bien inmueble, invita a que se definan criterios estándares de calidad para la aceptación o rechazo de los sistemas y elementos constructivos con el fin de establecer reglas claras entre constructor y adquiriente. Estos límites no deben interferir en la funcionalidad y/o durabilidad de la estructura y deben estar dentro del rango de capacidad de detección del cliente y de las capacidades reales de producción del sector local.

Para analizar las capacidades reales de producción del sector local se analizaron estadísticamente las desviaciones que se presentan en los elementos constructivos, y para analizar las capacidades de detección del cliente se analizaron casos posventa reportados y los momentos de entrega con el fin de tener una aproximación frente a los defectos que más percibe el cliente.

Para poder vincular las capacidades de detección del cliente con las capacidades reales de producción del sector local, es necesario obtener valores cuantitativos de las desviaciones que se presentan en los elementos que componen un bien inmueble y las desviaciones que logran ser detectadas por el usuario. Finalmente, el resultado del análisis de desviaciones es el insumo para un grupo de expertos quienes definen los valores de tolerancia que serán expuestos ante consulta pública para posteriormente ser validados.

## **ABSTRACT**

The need to establish tolerance values supported in a reliable statistical analysis, with which a real estate property will be delivered and received, invites the defined quality standard criteria for the acceptance or rejection of systems and building elements to establish clear rules between builder and acquirer. These limits should not interfere with the functionality and/or durability of the structure and must be within the range of customer detection capability and actual production capabilities of the local sector.

To analyze the actual production capabilities of the local sector, deviations presented in the construction elements were statically analyzed, and to analyze the customer's detection capabilities reported after-sales cases and delivery times were analyzed in order to have an approximation against the defects that the customer perceives most.

In order to link the customer's detection capabilities with the actual production capabilities of the local sector, it is necessary to obtain quantitative values of the deviations presented in the elements that make up a real estate and the deviations that manage to be detected by the user. Finally, the result of the deviation analysis is the input for a group of experts who define the tolerance values that will be exposed to public consultation and then validated.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

## **1 INTRODUCCIÓN**

Poco se ha estudiado acerca de las máximas desviaciones que deben presentarse en los elementos constructivos para que no se afecte su apariencia: condiciones estéticas de posición y forma. Esto plantea la necesidad de incorporar el concepto de tolerancia, que se define como aquella desviación no deseada pero aceptada de una dimensión o posición de un elemento dado (Botero et al. 2017) sin que afecte su funcionalidad.

Este valor de tolerancia debe incorporar dos perspectivas: la capacidad de detección del cliente, entendiendo que esta debe hacerse en función del alcance del ojo humano, en las posiciones usuales de apreciación, en condiciones normales de iluminación (natural o artificial) y en ausencia de herramientas de aumento (lupas o microscopios) (Botero et al. 2017), lo cual se entiende para esta investigación como percepción del cliente; y las capacidades productivas del sector de construcción inmobiliario local.

Para el caso de Colombia, se desarrolló anteriormente un documento denominado Manual de Tolerancias para la Construcción de Edificaciones en Colombia, el cual alberga los valores de tolerancia descritos para algunas actividades del proceso constructivo de inmuebles, establecidos por medio de un ejercicio de autorregulación, sin embargo, el estudio de estas tolerancias se ha basado sólo en las capacidades de producción del sector, dejando a un lado la percepción del cliente.

Es importante incorporar la capacidad de percepción del cliente para no incurrir en grandes esfuerzos por generar elementos con desviaciones nulas o muy pequeñas que demandan costos adicionales representados en nuevas tecnologías y sistemas de control, sin saber si estas finalmente son detectadas por el usuario del producto inmobiliario. Por tal motivo se hace necesario que los clientes sean parte de la definición de umbrales de tolerancia, con el objetivo

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.  
de conocer en qué punto las desviaciones presentadas pueden llegar a afectar estéticamente un elemento con respecto a lo que el cliente percibe (Sommerville y McCosh, 2006).

La importancia de precisar valores que permitan lograr acuerdos entre constructor y adquiriente implica la calidad mínima con la que debe entregarse un producto, ya que las lógicas del sector constructor imposibilitan que se pueda evitar totalmente la presencia de desviaciones en los elementos construidos, sin embargo, si bien no se puede exigir la inexistencia de estas desviaciones, no debe darse vía libre para que toda medida de desviación tenga que ser aceptada por parte del adquiriente.

La incorporación del concepto de tolerancia exige la instrumentalización del mismo, de manera que pueda establecerse una medida cuantitativa a partir de la cual un elemento debe aceptarse o rechazarse. Para desarrollar esta investigación se realizó un análisis estadístico más amplio al que se ha venido realizando para el desarrollo del Manual de Tolerancias, para ello se utilizaron los datos alojados en el Observatorio Control Solicitud Posventas y Observatorio de Tolerancias para la Construcción. Ambos, son plataformas web creadas bajo el marco del proyecto ConstruGarantías de la Universidad EAFIT, en las cuales se alojan eventos de reclamación posventa y mediciones de desviaciones de los elementos de construcción que componen un bien inmueble.

Dado que el resultado del análisis de la capacidad de detección del cliente no fue concluyente en cuanto a que no arrojo una medida cuantitativa que pueda ser incluida al momento de establecer tolerancias, el resultado del análisis de las desviaciones presentadas en los elementos constructivos es el insumo principal para un panel de expertos donde serán definidas, para que posteriormente puedan ser expuestas a consulta pública donde serán validadas por las partes interesadas.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

## **2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El abordaje de la temática de las reclamaciones posventa de proyectos de construcción demanda, en primera instancia, la fijación de reglas claras entre las partes coincidentes en el mercado inmobiliario: los constructores y los adquirientes. Lo anterior implica la definición de umbrales de tolerancia a partir de los cuales una desviación presentada en un componente de un bien inmueble debe ser aceptada o rechazada, rechazo, que, en términos prácticos, amerita un proceso de rectificación que se entiende como garantía.

Para el caso de Colombia, el trato legal de las garantías establece periodos de atención frente a un reclamo posventa (Decreto 735 de 2013 y Ley 1480 de 2011), sin embargo, aunque ya existen umbrales de tolerancias definidos en el Manual de Tolerancias para la Construcción de Edificaciones en Colombia, estas no están enmarcados bajo un marco legal que defina a partir de qué valor de desviación un sistema o elemento se califica como aceptable o inaceptable, además, los valores que se definen en este Manual, en primer lugar, no contemplan la percepción del cliente, y en segundo, aunque fueron establecidos con un análisis estadístico juicioso, no tienen una exploración analítica profunda previa al panel de expertos. Estos valores se obtuvieron en un ejercicio de toma de datos de desviaciones en proyectos en ejecución de una muestra de empresas del sector en Colombia, y fueron discutidos con el sector constructor de vivienda; sin embargo, al no estar normatizados, hace que exista la posibilidad de discrepancias entre los actores a la hora de la entrega de un bien inmueble.

La pregunta que motiva esta investigación es ¿Cómo analizar los datos de desviación presentados en los elementos que conforman los sistemas constructivos, teniendo en cuenta tanto la percepción del cliente como el análisis de las capacidades reales de producción de la industria de vivienda local, al momento de establecer valores de tolerancia?

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

### **3 JUSTIFICACIÓN**

Dadas las situaciones de desacuerdo debido a las perspectivas del constructor y adquiriente, que difieren al momento de la entrega de un bien inmueble, es oportuno analizar las desviaciones que se presentan en el sector constructor de vivienda asociadas a la posición y forma de los elementos sin que se comprometa su función.

Con este trabajo se busca proponer una metodología que contemple un análisis estadístico de desviaciones más amplio, además se incluye la percepción del cliente, ya que actualmente los valores de tolerancias definidos dentro del Manual de Tolerancias para la Construcción de Edificaciones en Colombia no contienen este concepto. Estos resultados servirán como insumo para el panel de expertos, donde se definirá un valor confiable de tolerancia, que deberá ser expuesto ante consulta pública.

Esta investigación beneficia a los constructores porque en la medida que se cuente con un análisis de datos mucho más riguroso, habrá mayor certidumbre de que las tolerancias que se están planteando si armonizan con las capacidades reales de producción del sector local; y a los usuarios debido a que en las tolerancias no se incluye su capacidad de percepción, es decir, que lo que se defina si este dentro de su rango de detección.

Lo que se busca con este documento, es incluir los dos requisitos que deben contemplarse al definir una tolerancia: las capacidades de percepción del cliente y el análisis de desviaciones presentadas en los elementos constructivos, generando mayor claridad ante las posibles discrepancias entre las partes que confluyen al momento de la entrega de un bien inmueble.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

## **4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1 Objetivo general**

Analizar las desviaciones presentadas en los elementos de sistemas constructivos, en función de las capacidades reales de producción del sector local y la capacidad de percepción del cliente, para definir umbrales de tolerancia para la aceptación o rechazo de dichos elementos.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Levantar el estado del arte de la definición de umbrales de tolerancias en proyectos de construcción.
- Recolectar datos reales de desviaciones presentadas en elementos constructivos almacenados en el Observatorio de Tolerancias para la Construcción de Edificaciones.
- Analizar los datos de desviaciones obtenidos que permita evidenciar tendencias de aparición, dependencias y comportamiento dependiendo según el recinto, con miras al establecimiento de umbrales de tolerancia.
- Recolectar información de reclamaciones posventas del sector local.
- Analizar las capacidades de percepción del cliente a través de reclamaciones posventas obtenidas y reclamaciones consignadas al momento de la entrega de un bien inmueble, con miras a la identificación de las desviaciones más frecuentes y las proporciones de estas asociadas a la posición y forma de los elementos.
- Relacionar el análisis de desviaciones y las capacidades de percepción del cliente con miras al establecimiento de umbrales de tolerancia.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

## 5 MARCO TEÓRICO

### 5.1 Marco de referencia

#### 5.1.1 Evolución de los sistemas de producción

Años atrás, debido al entorno que lo rodeaba, el hombre vio la necesidad de elaborar utensilios y objetos que aseguraran su supervivencia y facilitaran las tareas de su día a día como la cocina, caza, protección, construcción, entre otros, sin embargo, estos debían ser fabricados y tallados con sus propias manos, y modificados según sus necesidades. Un tiempo después vino la producción de mercancías en talleres artesanales más formales, donde el *productor artesano* “emplea trabajadores muy calificados y herramientas sencillas, aunque flexibles, para hacer exactamente lo que pide el cliente” (Cuatrecasas 2017), y desarrolla habilidades que le permitan realizar productos con mayor agilidad.

Este sistema evidencia cómo la manufactura emerge desde principios de la existencia del hombre, donde un hito importante de referencia ha tenido lugar a mediados de los 1800 en la Revolución Industrial, cuando el ingreso de máquinas, como la de vapor, redujo las labores de la mano de obra y con ello la producción artesanal, también conocida como producción *one-off*; con este último sistema se elaboraban los productos en la época, puesto que eran los mismos hombres quienes se encargaban de realizar todas las actividades laboriosas para transformar recursos en bienes y servicios. A su vez, la importancia de los sistemas de producción en las industrias ha conllevado que varios autores se hayan dedicado a estudiar cómo han cambiado con el paso del tiempo.

La *división de trabajo* propuesta por Smith busca lograr que los trabajadores se convirtieran en especialistas en una tarea, con el objetivo de que la producción fuera más eficiente y se pudiera aumentar la riqueza de las naciones; además, los principios impuestos por Taylor, donde *la estructuración del trabajo* se encontraba en torno a una serie de procesos y a una

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. cadena en la que es primordial tener estándares para no interrumpir la calidad del producto final ni llevar al desperdicio a través de un sistema de producción en términos de cómo se organizan los recursos hasta el diseño de las operaciones (C. Milberg 2011). Estos principios han sido usados en gran medida en la industria manufacturera, donde el grado de tolerancia es más preciso.

Para empezar, con la exigencia que la producción artesanal ameritaba, la gran demanda de piezas, la dificultad para fabricar algunas de ellas, el tiempo que llevaba, el alto costo que podría representar, entre otros, además del uso de las especificaciones de diseño en manufactura, fue necesario migrar a un sistema de producción más industrializado y estandarizado (Reyes 2003). Un ejemplo claro de esta migración, después de la Primera Guerra Mundial, es la empresa Ford con su *producción en masa*, un proceso donde el productor “emplea a profesionales poco cualificados para diseñar productos que como resultado producen con profusión productos estandarizados” (Cuatrecasas 2017).

Este sistema de producción fue capaz de reducir el ciclo de trabajo del ensamblador de 512 a 2.3 minutos, con la aplicación de varias técnicas (Cuatrecasas 2017) en el año 1908. Una de ellas fue la *intercambiabilidad perfecta de las partes*, debido a que, anteriormente los trabajadores, quienes eran conocidos como ajustadores, debían realizar un esfuerzo adicional en caso de que cualquier elemento presentara una desviación; por ejemplo, limar cada una de las piezas hasta lograr la dimensión necesaria para que encajara perfectamente en su posición y no interfiriera en el funcionamiento del producto, lo cual se denomina *deslizamiento secuencial*, así como la conservación considerada de su vida útil, dado que sus piezas se desgastaban menos y se cumplían mejor las expectativas del cliente (Flores 2009).

Este proceso de modificar las piezas hasta que pudieran ensamblarse de forma correcta llevaba al incremento de costos y tiempos, reprocesos y desperdicio de material, lo cual podría erradicarse si desde las fases tempranas del proceso se hubieran definido tolerancias.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Adicionalmente, se depositaba la confianza en la mano de obra, quienes eran responsables de la calidad del producto final. Es por esto, que, aunque Ford realizaba un gran esfuerzo por mejorar costos y tiempos, no tenía un proceso completamente efectivo.

Después de la Segunda Guerra Mundial, Japón no contaba con los recursos y materias primas requeridas para copiar el modelo Ford, por lo tanto, Toyoda, fundador de Toyota, pensó en un sistema en el cual se combinarán los beneficios del sistema de producción artesanal y del sistema de producción en masa. Teniendo en cuenta el esfuerzo de los productores por mejorar su competitividad, a finales del siglo XX surgió el sistema de producción *lean*, inspirado en la producción en masa y basado en una fase de control y gestión de la calidad.

La filosofía *lean* tiene como objetivo generar productos de calidad al eliminar desperdicios y evidenciar el éxito en la reducción de costos y tiempos (C. Milberg and Tommelein 2003), por consiguiente, los productos son fabricados con menos defectos y se da una variedad de productos mayor y creciente (Cuatrecasas 2017), donde las tolerancias juegan un papel clave para alcanzar los objetivos. Conviene evidenciar que la implementación *lean* en la producción del sistema Toyota empezó a automatizar procesos y a generar alertas cuando, al momento de la fabricación, ocurría algún suceso que pudiera afectar la calidad del producto, y así poder evitar que este tuviera defectos en su presentación final.

La manufactura *lean*, es un sistema de producción que se orienta en el mejoramiento continuo y optimización del sistema de producción, evaluando las actividades que son productivas, contributivas y no contributivas, para erradicar aquellas que no suman ningún tipo de valor al proceso ni que dedican tiempo a acciones que el cliente no va a costear; además se enfoca en utilizar aquellos recursos que sean necesarios para evitar dilapidación.

En conclusión, mientras la producción artesanal envuelve un mercado más pequeño, los componentes de un producto son más personalizados, se fabrican por separado con flexibilidad en los diseños y al gusto del cliente, la producción en masa acarrea un mercado grande con un

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. producto estandarizado que tiene un propósito más limitado (Cuatrecasas 2017), donde el cliente se encuentra sometido a las especificaciones del productor. Para el sistema de producción artesanal, el costo está directamente asociado a las exigencias del cliente y errores asociados a la fabricación, mientras que para el sistema de producción en masa el costo está altamente influenciado por el desperdicio generado por los productos defectuosos y la tecnología con los que son fabricados. Por otro lado, en el sistema de producción lean, el costo se acerca a un valor determinado a las especificaciones esperadas por el cliente.

### **5.1.2 Desarrollo de la calidad y su importancia a nivel industrial.**

La calidad es una preocupación esencial en todo el mundo (Rumane 2011) y para hablar de este tema es necesario entenderla como un factor inherente a todas las actividades realizadas por el hombre, desde la concepción misma de la civilización humana, no obstante, se trata de un tema amplio y subjetivo.

Crosby y Deming consideran que la calidad es la conformidad con los requerimientos, con las especificaciones de fabricación. Se entiende por especificaciones a las tolerancias u objetivos determinados por los diseñadores del producto (Miranda Gonzales, Chamorro Mesa, and Rubio Lacoba 2007).

Para Juran, es pertinente distinguir la calidad desde dos perspectivas: la calidad del producto libre de defectos y la calidad del producto enlazada a la satisfacción del cliente (Juran and Godfrey 1999). Este primero enmarca temas más técnicos y de funcionalidad del producto, mientras el segundo, asuntos que involucran la expectativa del cliente.

La calidad es definida por la Real Academia Española (RAE) como aquella “propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor”, entre tanto, en el año 1985 la American Society for Quality (ASQ), en español Sociedad Americana para la Calidad, mencionó que es “la totalidad de los rasgos y las características de un producto o servicio que

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

se relacionan con su capacidad para satisfacer sus determinadas necesidades” (Davis, Ledbetter, and Burati 1990), y en el 2018 la concibió como: “un término subjetivo para el cual cada persona o sector tiene su propia definición” (Gomez et al. 2019).

Asimismo, para Davis et al. el hecho de asumir la calidad como “conformidad con los requisitos” implica que el costo de la calidad se vuelva medible y consta principalmente de dos partes: el costo de los esfuerzos de la gestión de la calidad y el costo para corregir desviaciones (Davis, Ledbetter, and Burati 1990). Finalmente, para el objetivo de este documento, se entiende la calidad de productos como aquella en la que “un grado de características cumple con ciertos requisitos que satisfacen las expectativas del cliente” (ISO 9000).

Los japoneses plantearon un movimiento de calidad que se ha dividido en cuatro etapas o enfoques. El primero, que representaba un avance frente al sistema de inspección que se realizaba a simple vista, tuvo lugar en el año 1910 y era llevado a cabo por inspectores que usaban estándares para descubrir los elementos que no se ajustaban. Esta etapa se conoce como *orientación de inspección*, en la cual el objetivo era hallar productos defectuosos o de baja calidad y separarlos de los aceptables para que no salieran al mercado, más esta detección se realizaba al final de la línea de producción, pues los bienes se fabricaban en serie, lo que llevaba a grandes desperdicios.

A pesar de la búsqueda por llegar a la automatización por parte de las organizaciones, la supervisión humana experta siempre era la encargada de decidir, bajo su criterio, si el producto era apto o no para salir al mercado, en consecuencia, desde ese momento en que se evidenció que el mercado cada vez era más competitivo, se identificó la calidad como herramienta clave para erradicar parcial y totalmente los problemas que se presentaban.

Debido a lo anterior, la industria manufacturera comenzó a preocuparse por generar estrategias que ayudaran a mejorar la producción. Es así como en la década de los treinta surge el segundo enfoque denominado *control de calidad*, inspirada en la producción en masa, donde

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

se veía la necesidad de mejorar la eficiencia de las líneas de producción a partir de la minimización de costos y desperdicios, la determinación de especificaciones, y el desarrollo de estándares y métodos de medición a través del control de procesos para prevenir defectos y así garantizar un determinado nivel de calidad. Mientras la etapa de inspección se centraba más en el producto final, la de control se enfocaba en los procesos de la cadena de producción de los productos.

Posteriormente, en la década de los cincuenta, con el incremento de la competencia de los mercados, se vio la necesidad de involucrar a todos los actores y departamentos de las organizaciones en las diferentes fases del proyecto, con el fin de crear un sistema que diferenciara la organización de otras por medio de la garantía de calidad al cliente. De esa forma, aparece el *aseguramiento de la calidad*. Como su nombre lo indica, el objetivo principal es generar confianza y seguridad al cliente de que su producto cuenta con la calidad deseada, gracias a la conciencia y el esfuerzo que realiza una empresa para su satisfacción.

Por último, al final de la década de los ochenta, al combinar todas las bondades de las etapas anteriores, se desarrolló la *gestión de la calidad total* (TQM, por su nombre en inglés Total Quality Management), donde se realiza un diseño de la calidad en el producto y el proceso, a la vez que se aplica un conjunto de principios y se promueve la cultura de las organizaciones y la mejora continua.

Todos los sistema de producción mencionados anteriormente concuerdan en que son un sistema de organizaciones, procesos y materiales que crean un producto para satisfacer las necesidades del cliente (C. Milberg 2011), sin embargo, se evidencia que la diferencia más notoria entre ellos residía en el control de calidad de sus procesos y las etapas de la evolución de la calidad en las que se veían enmarcados.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

### **5.1.3 El concepto valor**

La aparición de la filosofía lean en 1990 fue un punto de inflexión respecto a cómo se ve la manufactura y la necesidad de estudiar el término *valor*. Las definiciones de la palabra valor varían de acuerdo a diferentes enfoques teóricos e individuales, en ese sentido, la que más se ajusta a este documento fue dada por Woodruff y Gardiel, quienes la concibieron como: “la percepción del consumidor sobre lo que quiere que suceda en una situación específica de uso, con la ayuda de un producto o una oferta de servicio, en el sentido de llegar a una propuesta u objetivo” (Nascimento da Silva and Miron 2017). Esta idea ha generado un creciente interés entre los investigadores de la construcción *lean* a causa de su potencial contribución a la consolidación del concepto de valor, por esta razón, en el sector de la construcción de vivienda dicho término no sólo debe estar relacionado con la no afectación del desempeño estructural de los elementos, sino estar relacionado también con la apreciación estética de los elementos como criterio de calidad.

Para Salvatierra (2011), el valor en el sector de la construcción es un tema amplio que puede considerarse tanto cualitativa como cuantitativamente. En el primer caso es de carácter subjetivo y enmarca la valoración y evaluación de las personas frente al producto, desde su percepción, así como la interacción del producto con ellos, mientras que el valor cuantitativo es de naturaleza técnica y objetiva, y envuelve las características que tiene un producto o servicio. Los umbrales de tolerancias están basados en los dos.

### **5.1.4 Definición del concepto de tolerancia**

La RAE define la tolerancia como la “máxima diferencia que se tolera o admite entre el valor nominal y el valor real o efectivo en las características físicas y químicas de un material, pieza o producto”. Asimismo, varios autores se han dado a la tarea de definir el término tolerancia, entre ellos están Talebi et al. (Talebi et al. 2016), para quienes “la cantidad aceptada

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. de esta variación es la tolerancia del material o la posición instalada del material” (p. 3). Por otra parte, Milberg (C. T. Milberg 2006) manifestó que las tolerancias son “el rango de variación permitido en una dimensión o ubicación específica sin afectar la integridad estructural, capacidad operativa, o componentes en contacto” o “simplemente otra forma de variabilidad”. Para la ACI (American Concrete Institute, Compite 116) la tolerancia se define como “la variación permitida de una dimensión o cantidad dada, y puede ser generalmente en cualquiera de dos direcciones” (Editorial Staff of Concrete Construction 2011), por este motivo, es oportuno entenderla como un aspecto relevante en la comunicación entre diseño, fabricación e inspección. Estas tolerancias no son más que desviaciones permitidas que parten de una referencia específica, en las que un elemento no afecta la intercambiabilidad, su funcionalidad y su apariencia, dado que la perfección y precisión en algunos casos es difícil de lograr (C. Milberg 2011).

Así, las tolerancias, que “proporcionan una descripción detalla de los márgenes que pueden ser esperados y aceptados en un producto” (C. Milberg and Tommelein 2003), se conciben como una máxima desviación permitida de un valor nominal, o un “defecto no deseado, pero aceptado” (Talebi et al. 2016), siempre y cuando no interfiera con el desempeño de la función.

Estos defectos y variaciones pueden ser obtenidos de la misma manufactura del producto, del almacenamiento, el transporte, el proceso de instalación y la reacción con el medioambiente, además de que hay una serie de procesos, materiales y productos que han de involucrarse entre sí (C. Milberg 2011) para cumplir con los requisitos de calidad exigidos.

### **5.1.5 La aparición de las tolerancias como necesidad de las industrias**

La gestión de tolerancias es crucial para lograr el rendimiento de sistemas de ingenierías (Tommelein 2003) y la calidad del producto; a su vez, supone la asignación de tolerancias a todos los componentes y conjuntos que se involucran en la fabricación del producto, asegura

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. que estas tolerancias son consistentes con las capacidades del proceso propuestas (C. Milberg 2011) y que de ellas depende la aceptación o rechazo de las piezas o elementos fabricados.

La constante búsqueda de la máxima calidad en los productos y servicios, y la necesidad de disminuir los costos y tiempos en los sistemas de producción –un efecto de los desperdicios–, dio paso a la definición de umbrales de aceptación o rechazo conocidos como *tolerancias* o *criterios de aceptación*, los cuales han evolucionado para apoyar el diseño, la intercambiabilidad y la producción en masa (Talebi et al. 2016).

Cabe resaltar que las tolerancias son fundamentales para la efectividad en los sistemas de producción, debido a que de estas depende el ajuste de las partes que luego serán ensambladas cuando la fabricación de estas se ejecuta de manera independiente, pues varios tipos de máquinas y miles de productos han sido construidos gracias al ensamblaje de cierto número de piezas fabricadas con una diversidad de dimensiones y materiales (Kalpakjian and Schmid 2002).

Un ejemplo claro de ello ocurrió años atrás, cuando durante la Segunda Guerra Mundial, muchas piezas de las armas que se utilizaban eran producidas en otros lugares del mundo, donde las unidades de medidas eran incompatibles, de ahí que hubiese problemas de funcionalidad, desechos, entre otros (Flores 2009). Esta circunstancia le abrió paso a la estandarización, y con ello, a la reflexión sobre la urgencia de dejar ciertas pautas claras para lograr que los rangos de desviaciones no alteraran el producto, o que, en otras palabras, las partes involucradas plasmaran un margen de error de valores en el que debe encontrarse dicha magnitud para que encaje con otras piezas sin que la funcionalidad se vea afectada. Lo anterior dio paso a la creación de un sistema de unidades universal llamado Sistema Internacional de Unidades (SI), creada en 1960.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

### **5.1.6 Las tolerancias en el sector de la construcción de vivienda**

Algunos autores se han interesado por introducir el tema de tolerancias como estrategia para maximizar valor y reducir los desperdicios (C. Milberg 2011). Las tolerancias han sido en gran parte un foco de investigación en el campo de la manufactura y conviene señalar que son fundamentales para la fabricación eficiente de productos, pues de estas depende la funcionalidad y durabilidad de los elementos y máquinas que son usadas para crear un producto, el cual debe cumplir con las exigencias esperadas por el cliente.

El sector de construcción de vivienda sigue siendo una industria que se amarra a sus raíces (Talebi et al. 2016) (C. Milberg and Tommelein 2003), por lo tanto, no ha migrado en gran magnitud a los sistemas industrializados pese a la gran evolución de tecnología en el sector en los últimos años. Entre tanto, la mano de obra sigue siendo su mayor fuente de producción y las características del sistema de producción artesanal de la mayoría de los proyectos limitan la capacidad de ofrecer estándares consistentes debido a la mano de obra, la cual tiene el impacto más grande en la apariencia y calidad del producto final (Forsythe 2006), por lo tanto, las tolerancias deben ser más flexibles.

El tema de las tolerancias sigue siendo poco explorado y aplicado en los proyectos (Monserrat 2019), adicionalmente Birkeland y Wethoff concluyeron que las tolerancias y otros estándares propuestos por algunas asociaciones no han tenido relación directa con la realidad, sin embargo, el problema mayor es que, ante la ausencia de datos concretos, estos comités han tenido que confiar en su juicio. Las tolerancias se han considerado como un asunto menor en el sector de la construcción, además, los métodos existentes del uso de gestión de tolerancias en construcción han sido adaptados de la manufactura, sin antes refinarla hacia una aplicación práctica del sector, y no han sido aplicados de manera holística y continua (Talebi et al. 2016). Las tolerancias deben enfocarse en asegurar la funcionalidad, la durabilidad y garantizar una apariencia estética del producto final con la que el cliente se sienta satisfecho.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

La funcionalidad de la estructura hace alusión a la no desviación del sistema, dado que las tolerancias que el sector acarrea dependen, a su vez, de la seguridad de los elementos estructurales y no estructurales; es por ello que, en el caso de Colombia, la Norma Sismorresistente (NSR-10) se encarga de establecer algunas tolerancias relacionadas con el valor nominal y los lineamientos necesarios para el correcto desempeño estructural. Esta norma plantea estándares necesarios para garantizar que las desviaciones presentadas en los elementos no afecten el comportamiento de la estructura, y que las cargas serán transmitidas de forma adecuada hasta sus cimientos.

Igualmente, para regular y determinar las características y calidad nominal de los elementos independientes como muros, aparatos sanitarios, materiales de construcción, entre otros, existen las Normas Técnicas Colombianas (NTC), las cuales son un conjunto de reglas y especificaciones que se hacen en consenso con las partes del sector de interés, con las que deben cumplir los fabricantes para entregar un producto de calidad. Asimismo, existen otras normas técnicas de construcción como el RAS, RETILAP, RETIE, RITEL que establecen los lineamientos y requisitos necesarios con los que deben cumplir los diseños, obras y procedimientos de infraestructura y vivienda.

Por otra parte, la durabilidad y sostenimiento de la calidad de los elementos referencia a todo aquello que depende de la no afectación de la vida útil. Así como debe garantizarse que una máquina trabaje adecuadamente durante cierta cantidad de años, el sector de la vivienda e infraestructura debe asegurar estabilidad por lo menos en 50 años para el caso de Colombia, además de que no habrá disminución ni pérdida de la calidad en este tiempo. La finalidad de la elaboración de un producto es precisamente cumplir su función en la etapa de exposición de los elementos y sistemas a agentes típicos de deterioro cuando se encuentran en interacción con los sujetos que lo habitan y/o usan.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Un ejemplo claro de la durabilidad en la industria de la construcción de vivienda tiene que ver con el espesor del recubrimiento de una columna de concreto, así, aunque se vincule lo suficiente con la seguridad y protección del elemento, un espesor pequeño da paso a defectos como fracturación, alta vulnerabilidad ante un incendio, reacciones químicas (exposición del acero que conlleve la corrosión y carbonatación), entre otros hechos que afectan su perdurabilidad.

En último lugar, se encuentra la apreciación estética como criterio de calidad, puesto que los constructores compiten en un mercado determinado por las necesidades subjetivas y la percepción del adquiriente (Forsythe 1999). Para ello, existe, en el caso de Colombia, el Manual de Tolerancias para la Construcción de Edificaciones en Colombia, sin embargo, las tolerancias están basada en estándares técnicos en vez de tener enfoques orientados al consumidor. Cabe destacar que el mercado del sector de construcción está supeditado por las capacidades reales de producción del sector local.

### **5.1.7 El cliente, su satisfacción y participación en las etapas de construcción.**

la industria de la construcción ha experimentado un creciente interés en el aseguramiento de la calidad, la razón principal de este hecho son los adquirientes, quienes cada vez exigen una mayor calidad en aquellos productos que conllevan un gran esfuerzo económico. En ese sentido, el cliente es quien paga o hará uso del producto o servicio que se le presta, por lo que se convierte en la persona encargada de juzgar y valorar, según su percepción, la relación costo – beneficio de este, de manera que el cliente se encuentre satisfecho con el producto por el cual está pagando y se eviten los reprocesos que conlleven costos adicionales y mayor tiempo de entrega.

Se ha concebido la calidad como un medio para lograr la satisfacción del cliente y para evitar disputas en torno al logro de los objetivos de producción (Jingmond and Agren 2015),

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. en consecuencia, la definición de reglas establecen las especificaciones mínimas de calidad con las que deben contar los sistemas y elementos que componen un bien inmueble.

En la industria de la construcción los conceptos que involucran al cliente como satisfacción, expectativa y percepción son poco estudiados, sumado a que los consumidores no tienen experiencia en transmitir sus necesidades en términos técnicos (Forsythe 2006). Por este motivo, es pertinente que la industria desarrolle un lenguaje para traducir los requerimientos del cliente en términos de construcción (Forsythe 1999).

Uno de los problemas fundamentales es explicado por Prieto, quien aseveró que “antiguamente se creía que el cliente era alguien que se encontraba simplemente al final del proceso productivo o de gestión, y que sólo tenía importancia para el prestador del servicio y no para todos los miembros de la organización” (Prieto Herrera 2014); lo que deja en evidencia la poca/nula participación de este en las diferentes fases del proyecto. Lo anterior ocasiona una falta de comunicación entre los actores, la cual termina en un defecto constructivo y posiblemente en una posventa.

La falta de participación de los clientes en la definición de los requisitos de calidad para las viviendas construidas por los desarrolladores, conduce a una percepción de mala calidad en los inmuebles al momento de la entrega (Forcada et al. 2012). Asimismo, Forsythe (2006) argumentó que los errores y las controversias a menudo ocurren a causa de la falta de sensibilidad compartida sobre lo que constituye calidad aceptable y la mano de obra, sobre todo cuando se habla de la fase de acabados.

Para el sector de la construcción de vivienda, involucrar al cliente en todas las fases del proyecto no es fácil: primero por los riesgos que corre la empresa al ingresarlo a la obra debido la normatividad de seguridad laboral, y segundo, por el desconocimiento del cliente en los procesos constructivos, los cuales posiblemente comenzarían a criticar, cuestionar y modificar el producto sin aún ser terminado. Es por ello, que el contacto del cliente con la empresa

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. constructora está enmarcado en sala de ventas con el brochure del proyecto y el apartamento modelo, y posteriormente la entrega de su inmueble, donde el desconocimiento por parte del cliente frente a los estándares con el que se le entregara el producto podría generar desacuerdos entre las partes.

### **5.1.8 La definición de defecto y sus causas en el sector de la construcción**

Los estudios han sugerido un foco de atención en los defectos, debido a que son consecuencia de un deficiente control de calidad en los proyectos de construcción y que podrían prevenirse si se fijan reglas claras entre constructor y adquiriente, y se cumplen las tolerancias establecidas con anterioridad. De acuerdo con Watt, un defecto es una “falla o deficiencia en la función, rendimiento, requisitos legales o de usuario de un edificio, y puede manifestarse dentro la estructura, fabricación, servicios u otras instalaciones del edificio afectado” (Forcada et al. 2014); o puede tratarse de “cualquier tipo de desviación causada por un problema técnico que resulta en un mal uso de los recursos o un costo adicional durante la construcción” (Jingmond and Agren 2015). Asimismo, “el defecto de construcción puede obedecer a que el constructor hizo obras que no estaban previstas en los planos, o construyó de manera distinta a como fue establecido en los diseños y especificaciones” (Vallejo 2007).

Es preciso señalar que los defectos en los proyectos de la industria de la construcción aparecen como consecuencia de errores y problemas a los que se encuentra sometido el sector. Esta industria cuenta con lógicas diferentes en sus procesos de producción que lo ubican como un caso aparte dentro de la industria de elaboración de bienes, dado que no existen plenas coincidencias respecto a las formas de producción de la industria manufacturera tradicional, pues esta integra lógicas de sistematización de procesos, supervisión y control y, por ende, tiene mayor posibilidad de garantizar resultados en términos de calidad, composición, dimensión, apariencia y propiedades de los productos fabricados.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Debido a ello, varios autores se han inclinado por estudiar más a fondo las reclamaciones más comunes en el sector de la construcción de vivienda, y han planteado sus investigaciones con el objetivo de encontrar las causas raíces por las que aparecen los defectos, aunque investigarlas no es sencillo (Jingmond and Agren 2015), y más aún en una industria tan reactiva, donde la causa de los defectos aparentes pesa más que los causales.

Jigmond y Agren (2015) ilustran cómo los defectos son consecuencia de una serie de variables (figura 1), dentro de las cuales se encuentra la poca gestión de tolerancias (no definición de tolerancias, mala definición, deficiente comunicación de la tolerancia a actores implicados, entre otros). Además, la causa de los defectos reside principalmente en factores endógenos dentro de las organizaciones, en lugar de fallos de ejecución o factores exógenos vinculados con el mercado (tolerancias de fabricación), el material o el comportamiento de los equipos.

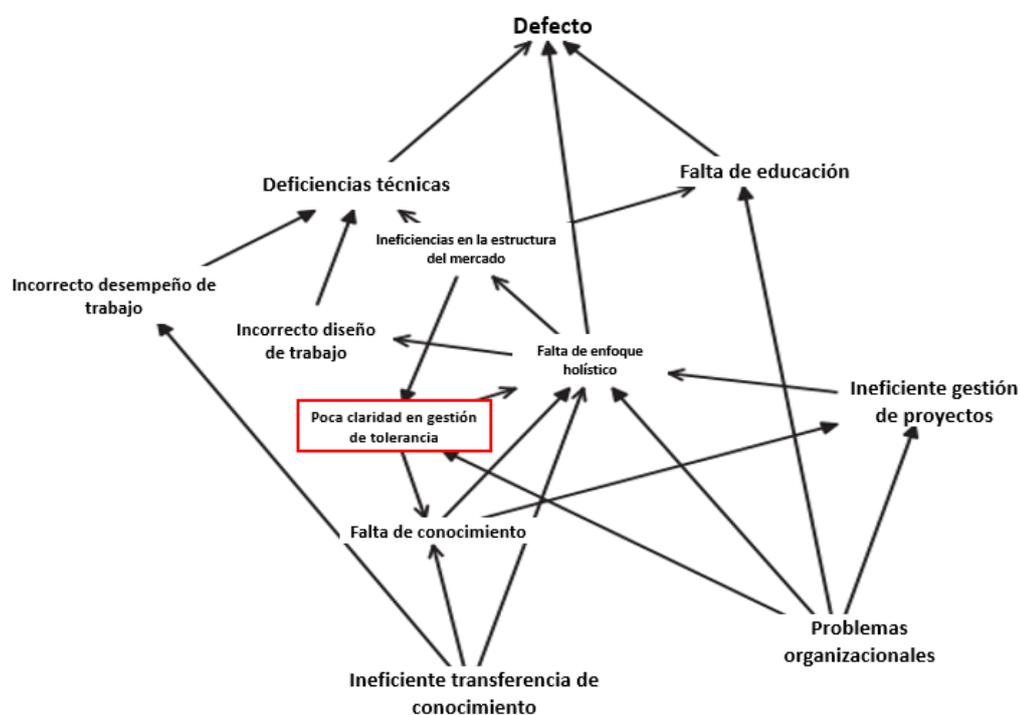


Figura 1. Factores que dan paso a los defectos

Fuente: Adaptado de (Jingmond and Agren 2015)

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Una investigación realizada por el *Building Research Establishment* (BRE) concluyó que las causas de los defectos de construcción tienen su origen en las condiciones climáticas, las condiciones ambientales, en un proyecto mal diseñado, en agresiones químicas, movimientos estructurales, métodos de instalación, fuerza laboral, mantenimiento y en las condiciones de trabajo. Sumado a ello, es posible evidenciar el vacío y la poca intervención legal para garantizar que el proyecto cumpla con los requisitos establecidos, de ese modo se observa que, si no es obligatorio, las empresas no encuentran imprescindible desarrollar estrategias para mitigar defectos, los cuales traen como consecuencia insatisfacción del cliente.

Por otro lado, Talebi et al. (2016) agrupan los orígenes de defectos en dos factores: intrínsecos, vinculados con las causas procesales, y extrínsecos, relacionados con las causas técnicas, que a su vez están en continua interacción. En estos primeros se encuentra la falta de estandarización, la mano de obra deficiente, la ausencia de estado del arte, los planos incompletos y la falta de educación. En contraste, los factores extrínsecos conducen a la materialidad de los elementos y la tecnología poco desarrollada y costosa.

Según Sommerville y McCosh (2006), los defectos detectados por los usuarios en la etapa de posventa se pueden dividir en tres categorías: *defectos técnicos* (se refiere a la afectación de la funcionalidad de los elementos como consecuencia de la mano de obra, material o diseño), *omisiones* (se refiere a los faltantes u omisiones de elementos de la vivienda) y *defectos estéticos* (afectan la apariencia de un elemento de la vivienda).

El enfoque en el estudio de los defectos en esta investigación hace referencia al acercamiento de las capacidades de detección del cliente con el fin de conocer cuáles son las desviaciones que se perciben más fácilmente por el usuario para que sirva como insumo para el establecimiento de tolerancias. Los datos asociados a defectos posventa no son de fácil obtención (Georgiou J. , 2010) (Yung & Yip, 2010) y no cuentan con una adecuada estandarización y caracterización del defecto, especialmente en términos de la identificación

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. de causas, lo cual constituye un impedimento para establecer conclusiones firmes (Mills, Love, & Williams, 2009).

### **5.1.9 La definición de retrabajo y su equivalencia económica en el sector constructor de vivienda**

El retrabajo se define como aquel “Esfuerzo innecesario de rehacer una actividad o procesos que se implementó [sic] incorrectamente por primera vez” (Forcada et al. 2012).

A pesar de que cada vez hay una mayor implementación de los sistemas de gestión de calidad como *la Behavior Based Quality (BBQ)* - cuyo objetivo es evitar imprevistos que puedan afectar negativamente al cliente, que no se presenten retrabajos y se mejore la entrega de valor al cliente (Gomez et al. 2019) -, en las empresas del sector de la construcción siguen apareciendo defectos de distinta naturaleza y gravedad, lo que genera quejas y reclamaciones por parte del usuario final (Mesa Fernandez et al. 2016). La solución de estas reclamaciones se realiza por medio de un retrabajo, consecuencia de la ausencia de procedimientos establecidos que definan parámetros o estándares, lo cual origina incremento de tiempos durante la ejecución del proyecto: más errores que incurren en operaciones, variaciones en el alcance o calidad del proyecto, mayor tiempo de entrega y sobrecostos.

Estos sobrecostos pueden alcanzar aproximadamente el 12 % de los costos directos (Davis, Ledbetter, and Burati 1990); (Talebi et al. 2016) y, según el Foro de Construcción de Navigant, el retrabajo promedio en los proyectos costaría entre el 7.25 % y el 10.89 % del costo total de la construcción e impactaría con un retraso del 9.8 % respecto del programa original (Gomez et al. 2019). Para Love, estos porcentajes son mucho más altos, pues, en promedio, el retrabajo contribuye al 52 % del crecimiento total de los costos incurridos y es capaz de aumentar los excesos en el cronograma en un 22 % (Forcada et al. 2017).

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

## **5.2 Estado del arte**

*“A mayor fragmentación, mayor es la necesidad de lidiar con la variabilidad que surge de la interfaz entre cada contribuyente”.* (Forsythe 1999)

### **5.2.1 Literatura acerca de las tolerancias en el sector de la construcción.**

Para la revisión bibliográfica se consultaron un total de noventa y dos documentos (figura 2), de los cuales sesenta y tres provienen de las bases de datos: Scopus y Science Direct. Estos documentos fueron el resultado de filtrar las ecuaciones de búsqueda por el campo de la ingeniería y, en cuanto criterio de inclusión por temática, se filtró por palabras claves que tuvieran relación con el sector de construcción de vivienda y tolerancias, y no se excluyeron publicaciones por fechas. Adicionalmente, se complementó la búsqueda con documentos provenientes de otras fuentes tales como libros, documentos académicos de Google scholar y documentos alojados en páginas web. Las ecuaciones de búsqueda utilizadas para la exploración de documentos de interés de las fuentes consultadas fueron: “Tolerance” AND “Construction”, “Tolerance” AND “Construction” AND “Defects”, “Tolerance” AND “Acceptance criteria” AND “Construction”, “Tolerance” AND “Construction” AND “Methods”, “Tolerance” AND “Construction” AND “Measurement” AND “Methods”, “Tolerance” AND “Acceptance criteria” AND “Building Construction” AND “Methodology”, “Tolerance” AND “Construction” AND “Consumer” AND “Perception” AND “Quality” AND “Method” y “Quality Control” AND “Construction”.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

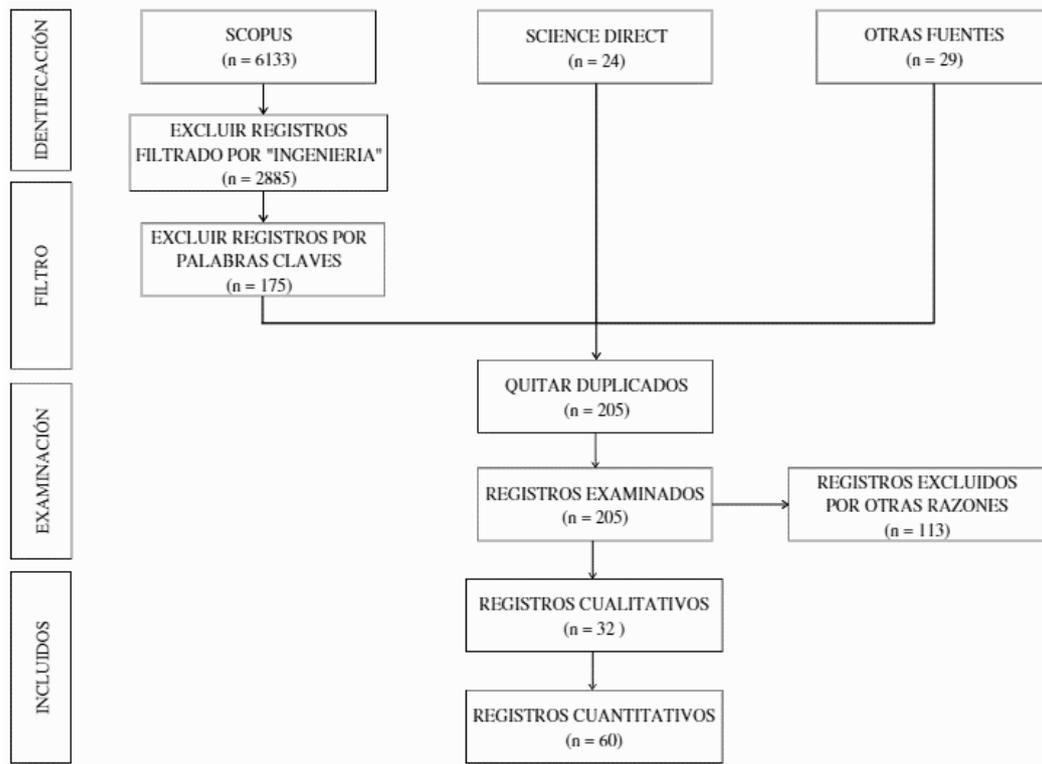


Figura 2. Cantidad de documentos consultados.

Fuente: elaboración propia

En la figura 3 se observa la relación entre la fecha y el número de publicaciones realizadas de los documentos estudiados, y se evidencia que el concepto de tolerancias y sus envolventes ha despertado interés en los últimos años, aunque es posible encontrar artículos que datan de 1900 y otros que no fue posible identificar su fecha de publicación (N/A). Para realizar un análisis más profundo, la literatura investigada se dividió por categorías que evaluaban el tema central (ver figura 4), y se evidencio que, si bien el tema de tolerancias es mayoritariamente tratado de manera general, hay autores que se dedican a estudiar las tolerancias de un material en específico, por ejemplo, la madera y el concreto, o de elementos como muros, recubrimientos y techos.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

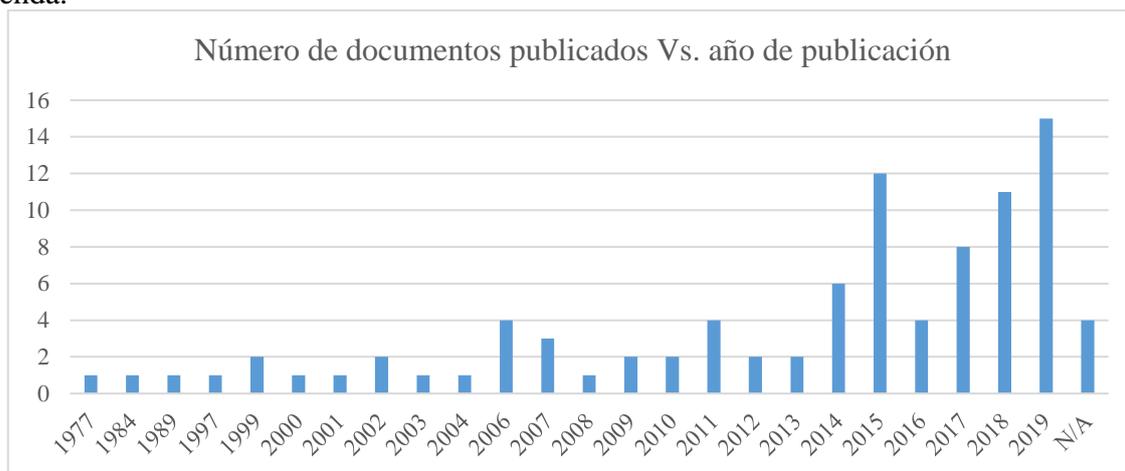


Figura 3. Número de publicaciones realizadas acerca del tema de tolerancias en la construcción en los años correspondientes.

Fuente: elaboración propia

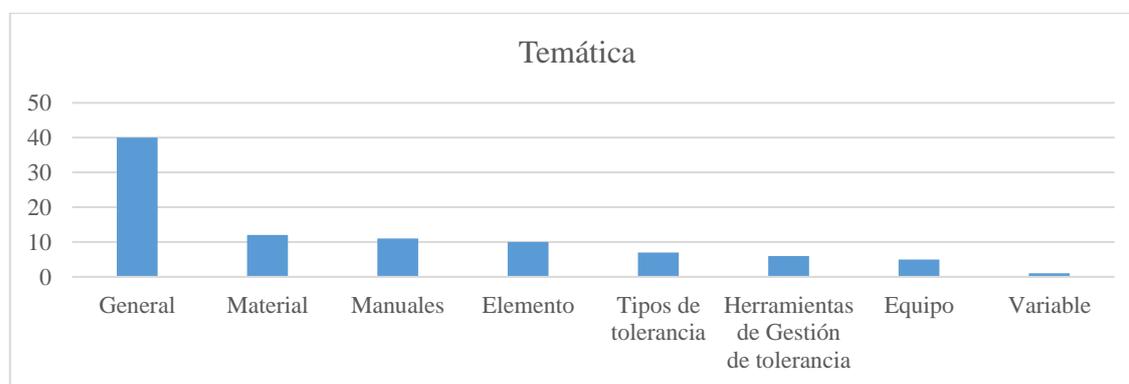


Figura 4. Temática central de la literatura investigada

Fuente: elaboración propia

## 5.2.2 Gestión de tolerancias

Considerando que las tolerancias juegan un papel clave en la calidad, varios autores como Milberg y Forsythe se han interesado por investigar acerca de una efectiva *gestión de tolerancias*, la cual implica asignar tolerancias a los componentes y conjuntos del producto, y garantizar la coherencia y consistencia entre las especificaciones de este y las capacidades de producción en el proceso (Forsythe 2006).

El éxito de la gestión de tolerancias para Milberg, se enfoca en la filosofía *lean*, dado que debe alcanzarse adecuadamente el rendimiento y calidad del producto (maximizar valor) y es

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. preciso verificar que este pueda ser construido sin interrupciones en flujo, a causa de las consideraciones de tolerancia y la efectividad en los procesos (minimizar el desperdicio) (C. Milberg 2011).

Para lograr una efectiva gestión de tolerancias se tienen herramientas que son usadas con el fin de crear y verificar el flujo de trabajo, mejorar los procesos y encontrar las interrupciones que ocasionalmente representan fallas y se conviertan en defectos. Estas herramientas son: los mapas de tolerancia, el modelado vectorial y el análisis de tolerancia. La primera es una adaptación de las redes de tolerancia en una nueva herramienta y es generada a partir de las perspectivas del diseño, construcción e inspección, para representar gráficamente, por medio de planos, información sobre las relaciones de tolerancias, y así apoyar una revisión más visual de sus especificaciones.

En segundo lugar, los modelos vectoriales son similares a los mapas de tolerancia, y se definen como un medio para capturar información de tolerancia sobre el ensamblaje, por medio de vectores, con el propósito de representar la geometría nominal, mientras las tolerancias se representan como variaciones en la longitud o dirección de los vectores, pero no se muestran gráficamente.

Finalmente, el análisis simulado de tolerancia evalúa la existencia de bucles o algún obstáculo que interfiera en el proceso de tolerancia mediante una simulación de Monte Carlo; esta última es la herramienta más común para encontrar una dimensión crítica de la muestra, a través de distribuciones adecuadas y basadas en las tolerancias especificadas o en las capacidades de proceso, para luego compararlas con la tolerancia ya establecida y reconocer dónde los procesos tienen mayor efecto.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

### 5.2.3 Tipos de tolerancias

Es posible que un producto posea varias desviaciones enmarcadas en diferentes tipos de tolerancias, las cuales pueden acumularse y complementarse entre sí. Es por ello, que los autores se han ocupado de definir el término *acumulación de tolerancia*, el cual hace referencia a que “las tolerancias sobre los componentes y las características dentro de un conjunto, se acumulan para determinar la variación global en la geometría de un conjunto final” (C. Milberg 2011).

Las tolerancias se han clasificado y dividido de varias maneras, una de ellas consiste en distribuir las tolerancias en dos grandes grupos: dimensionales y geométricas. Las principales tolerancias para la variación geométrica, que “describen un rango aceptable de variación en la geometría de una referencia geométrica nominal” son la forma, perfil, orientación, posición, oscilación, ubicación y agotamiento, y su impacto radica en los tiempos, costos, desperdicios y reprocesos que traen consigo. Por otra parte, las tolerancias dimensionales abarcan las tolerancias de tamaño: hacen referencia a los límites dados para los valores de las distintas dimensiones de las que se compone una pieza o conjunto mecánico(C. Milberg and Tommelein 2003)(González García 2010).

Sumado a ello, Milberg expuso que, en la fabricación, hay tres categorías de tolerancias geométricas y cada una de ellas cumplen sus propósitos específicos. La primera alude a *las tolerancias relacionadas con la función*, las cuales fijan límites para la función del producto; luego están *las tolerancias relacionadas con el montaje* que especifican límites de variaciones derivadas de tolerancias funcionales, relacionadas y resultantes de cada proceso de manufactura, fabricación, ensamblaje o montaje para control de procesos de optimización. Por último, aparecen *las tolerancias relacionadas con la inspección*, estas determinan límites de variaciones derivados de tolerancias que se vinculan funcionalmente para el control de inspección (C. T. Milberg 2006).

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

De otro lado, Talebi et al. (2016) se ocuparon de clasificar las tolerancias de acuerdo con la intensidad de sus consecuencias, así registraron las siguientes: *falla de tolerancia*, *problemas de tolerancia* e *incompatibilidad de tolerancias*. La falla de tolerancia es una desviación inaceptable de la tolerancia establecida y conduce a una consecuencia catastrófica, requiere trabajo costoso y consume tiempo; los problemas de tolerancia se perciben como problemas en el rendimiento que son menos catastróficos y pueden ser reparados sin un trabajo laborioso; y, por último, la incompatibilidad de tolerancias se refiere a la interfaz de dos materiales con diferentes niveles de precisión dimensional.

Tabla 1. *Clasificación de las tolerancias.*

Fuente: Elaboración propia

<b>Clasificación de tolerancias</b>					
Milberg y Tommelein	(C. Milberg and Tommelein 2003)	Según variación	Dimensionales	Tamaño	
			Geométricas	Forma	
				Perfil	
González	(González García 2010)	Según el tipo	Geométricas	Orientación	
				Ubicación	
				Agotamiento	
Talebi et al	(Talebi et al. 2016)	Según la fabricación	Geométricas	Dimensionales	
				Fabricación y montaje	Forma
					Orientación
De acuerdo con la intensidad de sus consecuencias	Según la fabricación	Geométricas	Geométricas	Posición	
				Inspección	Oscilación
					Función
			Falla de tolerancia		
			Problemas de tolerancia		
			Incompatibilidad de tolerancias		

#### 5.2.4 Manuales de tolerancia

Para Forsythe, el término tolerancias no es tan apropiado en la industria de la construcción y es mejor hablar de *exactitud característica* o de *manuales de precisión*. La diferencia entre estos conceptos radica en que las tolerancias, aunque son más objetivas, crean límites contractualmente exigibles o una regla general, y se utilizan para controlar problemas altamente

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. críticos, donde no hay margen de desviación más allá de los límites especificados, aunque pueden generarse excepciones que ponen en duda la validez de lo estipulado (Forsythe 1999).

Entre tanto, en caso de que las exigencias mínimas de calidad no sean claras o que los requisitos de los procesos no se especifiquen, no se apliquen, se determinen de manera flexible o no tengan la importancia suficiente para el cumplimiento de las tolerancias propuestas, es mejor utilizar las guías de precisión que involucran un mayor número de variables, como las capacidades reales de producción de la mano de obra para algún proyecto en específico, y detallan el nivel normal de precisión alcanzado por los trabajadores en cierta actividad a partir de la medición de la desviación de los elementos para luego interpretar los resultados.

Evidentemente, la industria de la construcción necesita establecer estándares y límites que regulen ciertas actividades del sector constructor de vivienda. De allí surgieron los Manuales de tolerancia, donde se especifican umbrales de aceptación y rechazo para las desviaciones presentadas en los elementos que componen un bien inmueble. Se destaca que estos documentos técnicos son de consulta, por lo tanto, sus alcances no se encuentran por encima de lo que establecen los códigos de seguridad. A continuación, se relacionan algunos casos.

#### **5.2.4.1 Caso Canadá**

Canadá publicó el Handbook of Tolerances con el fin de generar una fuente de referencia para todos los actores de la industria de la construcción, el cual ha pasado por dos versiones: a) la primera fue publicada 1994, en la cual se establecen estándares o valores de tolerancia para la manufactura, fabricación e instalación de materiales y componentes de construcción. Con el transcurso del tiempo se vio la necesidad de actualizar este manual: b) una nueva versión fue publicada en 2007, para la cual se actualizaron valores de tolerancia que debían ser modificados, se incorporaron nuevas actividades y secciones en la industria, además se añadieron nuevos aparatos medición y sus respectivos métodos.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Estos documentos se desarrollan mediante capítulos donde no sólo se desarrollan tolerancias discriminadas los materiales de construcción como: concreto, acero, unidad de mampostería, roca; sino que también se desarrollan para elementos como puertas y ventanas, mampostería, carpintería, entre otros.

#### **5.2.4.2 Caso Australia**

Para el caso de Australia se encontraron los tres siguientes casos. a) El primero, publicado por “Building Control Commission” en 1999 denominado “Guide to Standards and Tolerances” (traducido Guía para Estándares y Tolerancias). Este documento fue elaborado por un conjunto de personas que representan a diversos grupos del sector de la construcción de vivienda y grupos de consumidores, con el objetivo de establecer valores de tolerancias aceptables para los procesos constructivos, integrando aquellas actividades que no están descritas por la ley. Los valores analizados por este grupo estaban basados en sus experiencias (B. C. Commission 1999).

b) El segundo en Victoria, El “Victorian Building Authority”, publicó en 2007 la “Guide to Standards and Tolerances” con la intención de desarrollar valores de tolerancia para la aceptación de elementos con el fin de direccionar aquellas actividades constructivas que no están reguladas por la legislación. Las empresas constructoras deben comprometerse a no ofrecer una calidad menor a la que está estipulada en estos estándares. Posteriormente, en compañía de las empresas constructoras y los clientes, publicó la versión 2015 que daba continuidad al estudio de la versión anterior, actualizando y completando actividades y métodos de medición (V. B. Commission 2007).

Por último, c) Nueva Gales del Sur, por medio del “NSW Fair Trading”, publicó el “Guide to Standards and Tolerances”. Su única versión es la 2017, la cual fue realizada con base a “Guide to Standards and Tolerancias” publicado por “Victorian Building Authority”. Este

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. documento tiene como objetivo ser un referente entre constructores y clientes frente a los estándares técnicos mínimos y la calidad del trabajo con que el bien inmueble debe ser entregado(NSW Fair Trading 2017).

Estos documentos están desarrollados a través de capítulos como, por ejemplo: zapatas, losas y replanteo; mampostería, recubrimientos, cielos, ventanas y puertas, entre otros, en los cuales se definen procesos constructivos, reparaciones, defectos, variables a medir y los requerimientos necesarios para medirlas con sus respectivas tolerancias.

#### **5.2.4.3 Caso Chile**

En Chile, la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), de la Cámara chilena de construcción, es el encargado de la actualización del Manual de Tolerancias para Edificaciones en Chile. Este manual ha tenido tres actualizaciones, a) la primera versión fue publicada en 2009 con el objetivo de establecer un documento técnico que detallara rangos de aceptación para dar conformidad a diferentes procesos y productos como petición de un grupo de empresas del sector constructor de vivienda, el cual tuvo bastante acogida por los profesionales del sector. b) La segunda versión del Manual fue publicada en 2013, incluyendo las consideraciones del punto de vista del usuario, con el objetivo de que el cliente tuviera un documento más fácil de interpretar que las especificaciones técnicas de los planos, y en ella se recolecto los acuerdos entre las partes interesadas. c) Debido a que este documento se posicionaba como un caso de éxito, siguieron trabajando hasta publicar la versión 2018, actualmente vigente, en la que se agregó y reestructuro el contenido de fichas con su respectiva descripción, valores de referencia y tolerancias, además de los instrumentos de medición.

La Cámara Chilena de Construcción estima estos valores de tolerancia bajo la metodología de grupo de trabajo donde se congrega a una mesa de expertos, muchos de ellos representantes de empresas, donde se analizan cada uno de los temas y se determinan criterios y valores

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. basados en su experiencia en la operación de proyectos. El trabajo de esta mesa, que toma varios meses, concluye con un borrador que se somete a consulta pública abierta, en la que cualquier profesional del sector construcción puede opinar o sugerir nuevos valores, y, en caso de que hubiese observaciones atendibles, esos valores son revisados y actualizados. Adicionalmente, se desarrollaron plataformas electrónicas colaborativas, donde a modo de foro se discuten temas específicos del Manual de Tolerancias con el propósito de involucrar y tener la percepción de la mayor cantidad de personas posible.

Por otra parte, cuentan con un documento que se realizó en 2019 por la Cámara Chilena de Construcción con el fin de garantizar la calidad y el cumplimiento de las obligaciones por parte del constructor fue el Protocolo de Inspección para la Vivienda Terminada, el cual es:

Un material informativo que busca colaborar con el cliente final y la inmobiliaria en el proceso de entrega de la vivienda, gracias a la verificación y registro de los diversos elementos necesarios para la óptima funcionalidad de los espacios recibidos. (Camara Chilena de la Construcción, 2019, p. 5)

Este documento está compuesto por 20 fichas que indican el procedimiento sugerido para valorar conjuntamente el criterio que debe tener cada elemento con el fin de conjugar de manera cualitativa la percepción del cliente en el bien inmueble mediante los parámetros de inspección que posteriormente se pueden comparar con el Manual de Tolerancias de Chile, sin embargo, el cliente se encuentra sometido a lo estipulado en este, pues no estuvo involucrado en el establecimiento de estos valores.

#### **5.2.4.4 Caso Reino Unido**

En 1990 surgió una guía del estándar británico conocida como la BS5606 (*Guide to accuracy in building*), la cual proporciona ejemplos asociados con la precisión en la construcción de edificios. Esta guía evita y resuelve problemas de imprecisión o ajuste

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. mediante el diseño adecuado con las especificaciones apropiadas, evalúa el alcance de las tolerancias según el proyecto y supervisa y controla el trabajo durante la construcción con el fin de garantizar que se cumplen los valores de tolerancia descritos. Específicamente la BS5606 enfoca sus bases en la aplicación de principios estadísticos de los datos resultantes de medición de desviaciones en obra, no obstante, esta norma poco se ha desarrollado en términos de inclusión de la necesidad del consumidor.

Este documento plantea que más que estandarizar las desviaciones, es necesario precisar un método para la medición de estas y describir el nivel de precisión que es probable que se logre en las actividades comunes de mano de obra, en comparación con los niveles teóricos de exactitud, lo cual se denomina *precisión característica*, y se determina al trazar la precisión medida de un atributo de trabajo, por ejemplo, plomada en paredes de ladrillo a partir de una muestra representativa de trabajo medida en sitio.

Posteriormente, estos datos son graficados por medio de una distribución de frecuencias o histogramas, donde se precisa si la distribución cumple con los parámetros estadísticos relativos de la normalidad, pues de esa forma los datos pueden ser usados para obtener los valores requeridos de tolerancia mediante la aplicación de una vez o dos veces la desviación estándar (ver figura 5), y los valores que no se encuentran en este intervalo se rechazan y catalogan como inaceptables.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

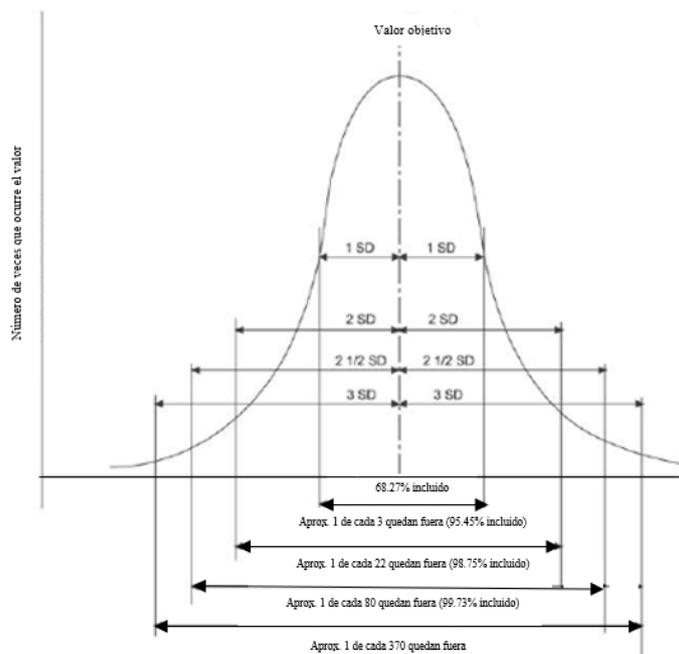


Figura 5. Distribución normal de mediciones tomadas en una actividad específica.

Fuente: Adaptado de (Institution 1990).

En efecto, se admite el 95.45 % del trabajo realizado y se rechaza alrededor de uno de cada veintidós casos. Sin embargo, a pesar de que la media es valiosa para describir esta precisión característica, todavía puede diferir de los valores objetivo especificados previamente. Lo ideal es que la media de las mediciones en sitio fuera el mismo que el valor objetivo propuesto por los diseñadores y los manuales, pero si estas difieren se conoce como *desviación sistemática* (ver figura 6) y si la desviación es crítica, deben tomarse medidas para encontrar la causa y resolverla.

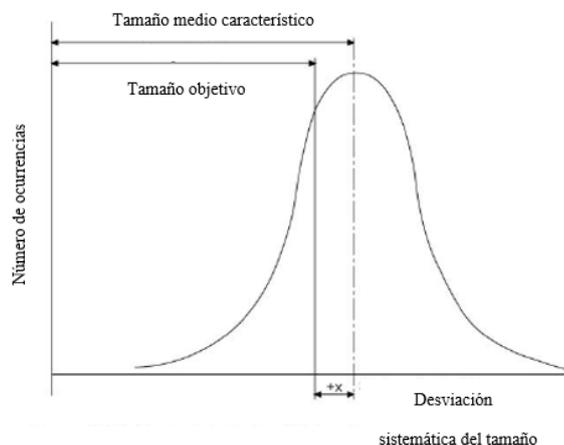


Figura 6. Desviación sistemática entre el valor medio y el objetivo.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Fuente: Adaptado de (Institution 1990).

#### **5.2.4.5 Caso Colombia**

En el caso de Colombia, la Universidad EAFIT desde el año 2012, en compañía de un grupo de empresas del sector constructor participantes del proyecto ConstruGarantías, comenzó a preocuparse por crear un documento que estableciera los rangos de error admisibles de las desviaciones asociadas a la posición y forma de elementos constructivos que componen un bien inmueble. De allí surgió el Manual de Tolerancias para la Construcción de Edificaciones en Colombia, en el cual reposan los valores de tolerancia que resultan del análisis de los datos de desviación presentados en los componentes de bienes inmuebles medidos desde el año 2012 (estas mediciones son tomadas por profesionales capacitados bajo una misma metodología). La importancia de este documento radica en que, hasta la fecha, es el único Manual de tolerancias para la construcción en Colombia.

Estos valores están representados por combinaciones, las cuales están compuestas por: las familias, que agrupan los sistemas constructivos: recubrimientos, muros, cielos, pisos, muebles de baño y cocina, interiores de closet y vestier, zócalos y guardaescobas, y puertas, ventanas, cabinas y frentes de closets; los elementos, que son cada uno de los componentes que conforman un sistema; los materiales, que se refieren al material asociado a cada elemento; y, por último, las variables: son las diferentes desviaciones que pueden presentarse en los elementos constructivos constituyentes de un bien inmueble, entre las que se encuentran la alineación, ancho de junta o espacio entre elementos, escuadría, abertura en unión entre elementos, horizontalidad, paralelismo, planeidad, rectitud, resalto y verticalidad.

Actualmente se tienen cinco versiones del Manual, en las cuales, al igual que el caso chileno, han sido desarrollados en trabajo en equipo, se concluye con un borrador y se somete a consulta pública, con el fin de aprobar o modificar estos valores.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

a) la primera versión fue la 2013, la cual determino los valores de tolerancia a través de las capacidades de producción de la industria proveedora de insumos para el sector constructor y los alcances de las prácticas constructivas en el ámbito nacional. b) Posteriormente la versión 2014 difería de la anterior en cuanto a complementos en las actividades establecidas, sin embargo, daba continuidad en el estudio de las tolerancias asignadas, sus métodos e instrumentos de medición. Posteriormente, c) se construyó la versión 2015, que conservó la misma estructura del manual versión 2014, con la diferencia en que se propusieron nuevos métodos de medición a partir de instrumentos electrónicos (Botero et al. 2015).

En las tres versiones descritas anteriormente, los valores medidos eran escritos manualmente en formatos físicos, posteriormente eran introducidos en Excel, y, por último, se realizaba un análisis estadístico en StatGraphics, herramienta para analizar datos.

Luego, d) una nueva versión se desarrolló en el año 2016 conservando la estructura conceptual de la versión anterior, sin embargo, los datos de desviación medidos en campo son albergados en una plataforma web denominada Observatorio de Tolerancias de Construcción ([www.tolerancias.observatorio.com.co](http://www.tolerancias.observatorio.com.co)), la cual cuenta con aproximadamente 167.834 datos albergados a la fecha del 31 de diciembre del 2020 y cuyo patrón de referencia es el Manual. Esta plataforma permite analizar los datos mediante estadística descriptiva: visualización de valores de estadística de tendencia central, por ejemplo, la mediana, moda y varianza, acompañados de gráficas de histogramas y cajas de bigotes. Su funcionamiento es de tipo cascada, donde se despliegan los elementos según la selección del ítem anterior y se especifican las propiedades físicas y espaciales del elemento en consideración como, por ejemplo, el elemento, el material, la ubicación y la variable que se está midiendo, de modo que se posibilite conformar una combinación completa y realizar análisis según la necesidad y se posibilite la agrupación de los datos para la consolidación de informes.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma en presentados en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Por último, e) la versión actual, 2017, conserva la misma estructura conceptual y métodos de medición de la anterior e incluye nuevas actividades del proceso constructivo y actualización de valores. Esta versión cuenta con un total de 215 valores de tolerancias enmarcados en 48 combinaciones.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

### **5.2.5 Otras metodologías para determinar umbrales de tolerancia.**

La revisión bibliográfica realizada para esta investigación evidencia que las metodologías existentes para la determinación de umbrales de tolerancias, asociados a la posición y forma de los elementos, son muy dispersas y no están enmarcadas bajo un marco legal que indique criterios rigurosos para su establecimiento. Para el sector de la construcción de vivienda, la ausencia de estos parámetros imposibilita saber a partir de qué desviación es necesario corregir el sistema o elemento en consideración.

Por otra parte, un estudio realizado por Savoini y Lafhaj reveló que la forma adecuada de proponer tolerancias es el *dimensionamiento funcional*, en el cual un sistema de dimensionamiento se diseña para concretar las medidas de un elemento para que su función no se altere independientemente de las partes que lo componen; en otros términos, es la “selección de la dimensión de la tolerancia correcta para optimizar las piezas de acuerdo con la definición del conjunto mecánico para su propósito final” (Savoini and Lafhaj 2017). Esta investigación se desarrolló en casos de estudio, sin embargo, basaba sus valores en lo introducido por la ingeniería arquitectónica y la construcción, donde comúnmente los rangos de tolerancia dependen de los diferentes oficios: el albañil trabaja con una tolerancia de más o menos 10 mm, mientras que el carpintero trabaja con una tolerancia de más o menos 5 mm, valores no especificados objetivamente y que pueden diferir.

El primer caso de estudio consiste en la tolerancia que deben tener los componentes de una bahía en la que posteriormente se introducirá una ventana; aquí se involucra tanto el trabajo del albañil como el del carpintero. Para este caso, los autores aseguraron que el uso de juntas es la solución más utilizada para superar los desafíos del dimensionamiento funcional, y que la tolerancia total estará definida por la siguiente ecuación:

$$X_{\max} - Y_{\min} = \Delta X + \Delta Y \quad (1)$$

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Siendo X la dimensión de la ventana,

Y la de la bahía,

y el  $\Delta$  los posibles cambios establecidos como conceptos

El otro caso de estudio hizo referencia a la situación donde se colocan varios elementos en un espacio. La investigación se centró en un baño con bañera, lavamanos, lavadora y radio de giro de una silla de ruedas (ver figura 7), así, esta última era la condición funcional. El radio de giro de la silla es de 1500 mm.

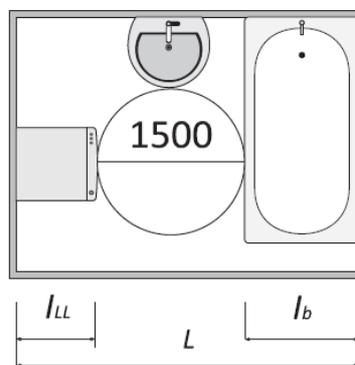


Figura 7. Distribución del baño. Considerando la dimensión funcional en diseño arquitectónico.

Fuente: (Savoini y Lafhaj, 2017)

Simultáneamente, la dimensión de funcionamiento del caso está descrita por la siguiente ecuación:

$$L - l_{LL} - l_b > 1500 \text{ mm} \quad (2)$$

Los componentes que se involucran deben garantizar la funcionalidad del espacio, incluyendo la suma de las tolerancias de las partes constituyentes (acumulación de tolerancia). Para este caso, el peor escenario posible está representado por la longitud mínima del baño ( $L$ ), la longitud máxima de la bañera ( $l_b$ ) y la lavadora ( $l_l$ ), por lo tanto, la expresión de la condición de funcionalidad y el valor de tolerancia que se debe atender está definido por:

$$L > 1500 + l_{LL} + l_b + \Delta l_{LL} + \Delta L + \Delta l_b \quad (3)$$

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

### **5.2.6 Investigaciones existentes para el estudio de las capacidades de percepción del cliente en la industria de la construcción.**

Un caso de estudio enfocado en la vinculación del adquiriente en la calidad de un proyecto de construcción, fue presentado por Gómez et al en 2019 (Gomez et al. 2019) acerca de un edificio de seis niveles donde los tres primeros pisos eran clínicas de tratamiento, los siguientes dos eran de investigación y, por último, se tenía un vivero. Para definir adecuadamente las especificaciones de muros arquitectónicos de concreto a la vista, se realizaban reuniones semanales durante cuatro meses con todos los actores que involucraba el proyecto, y se aplicaba la metodología “Distinguish Features Of Work” (DFWO, en español Características distintivas del trabajo), al aplicar mediciones de color, planeidad, verticalidad, entre otros, a un prototipo.

Estas reuniones tenían como objetivo la búsqueda de normativa y estándares, por parte del equipo técnico, para garantizar la seguridad del elemento, y posteriormente eran los adquirientes los encargados de decidir en qué punto la desviación que presentaba el sistema se volvía incómoda para ellos estéticamente; así se determinaban criterios de aceptación medibles que serían conocidos por los trabajadores en obras y la metodología para lograrlo, con miras a disminuir la presencia de defectos que den paso a reclamaciones posventas (Gomez et al. 2019).

Por su parte, en 1999 Forsythe propuso que para definir umbrales de tolerancia era necesario involucrar la percepción del cliente. Teniendo en cuenta el desafío que esto llevaba consigo, ya que para la época era la única persona que se había interesado en estudiar este aspecto en la construcción, realizó una investigación en la cual utilizó la Ley de Weber como metodología.

Esta ley hace parte de la psicofísica, una rama de la psicología que hace énfasis en el grado de diferencia necesario para que un estímulo se perciba como diferente a otro a través de atributos como los sentidos, donde actúan como instrumentos de medición. La ley de Weber también es conocida como la Ley de las sensaciones o *Just Noticeable Difference* (JND), y

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

conduce una cantidad mínima de alteración de estímulo requerido para provocar una diferencia apenas perceptible.

Años después, Fechner agregó a esta ley un estudio sobre la relación entre el aumento de los estímulos y las sensaciones; y luego Stevens encontró que un cambio porcentual en el estímulo origina un cambio porcentual constante en su efecto. Como resultado, se establece presentando un estímulo estándar, luego viendo cuanto más fuerte otro estímulo debe ser para ser percibido y crear una “diferencia apenas perceptible” el 75 % del tiempo. Esta ley se expresa como una proporción constante por medio de una fórmula matemática, presentada a continuación, que relaciona la intensidad de un estímulo y la sensación derivada a este:

$$k = \frac{\Delta I}{I} \quad (4)$$

- $\Delta I$  representa el umbral de diferencia.
- $I$  representa la intensidad inicial del estímulo.
- $K$  significa que la proporción en el lado derecho de la ecuación permanece constante a pesar de la variación en el término de  $I$ .

Ahora bien, Forsythe realizó dos investigaciones, una en 1999 y la segunda en 2006. El primer estudio realizado por Forsythe para medir la percepción del cliente se centraba en las habilidades características de la industria para proporcionar calidad y apuntaba a identificar los estándares objetivos y los métodos de medición de los acabados. Para llevarlo a cabo se dividió en dos partes, en el primero conformó un grupo de expertos que, con base en la visualización y la recopilación de datos entre 10 y 30 casas, debían encontrar e interpretar la asignación de criterios de actividades de construcción. Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente empleando los métodos de control de calidad frecuentes en la literatura y la BS5606: rango (extensión de datos), desviación estándar (dispersión de datos en torno a la media) y la ubicación de la media.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

La segunda parte del primer estudio se centró en la medición de la percepción del cliente gracias a la aplicación de la ley de Weber. Esta consistía en pedirles a cierta cantidad de clientes comparar las juntas adyacentes en un muro con recubrimiento en baldosa de un baño, a una distancia de un metro, para identificar cualquier junta donde su variación en anchura fuera molesta para ellos. Los resultados fueron analizados al trazar un cambio proporcional en el ancho de las juntas versus la frecuencia de las respuestas, y se consideraron las variables implicadas en el establecimiento de medición, tales como el defecto en el ancho de junta situada detrás del sanitario que no genera la misma percepción del ancho de la junta situada en el umbral de la puerta.

La segunda investigación fue realizada en Australia en 2006 (Forsythe 2006) y se basó en el estudio mostrado anteriormente. Esta vez, para diseñar el experimento, se estableció un grupo focal de altos representantes de la industria de baldosa, quienes vieron la necesidad de enfocarse en el ancho de la junta para evaluar la regularidad de la apariencia.

El estudio consistía en la percepción del trabajo final del recubrimiento, aunque se podía tomar como referencia cualquier elemento donde las áreas tienden a ser largas y la regularidad del patrón es importante para el aspecto general del sistema. La investigación fue realizada en diferentes inmuebles, en la cual participaron 50 clientes de diferentes sexos y estatura (el 65 % eran de sexo masculino, y sus alturas variaban entre 1.57 a 1.90 m), esta última característica fue relevante debido a que la tolerancia de apariencia depende de la distancia desde la cual sea visto el elemento; así, se les preguntó cuáles anchos de juntas adyacentes presentaban diferencias notables que pudieran afectar la apariencia del sistema (ver figura 8).

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

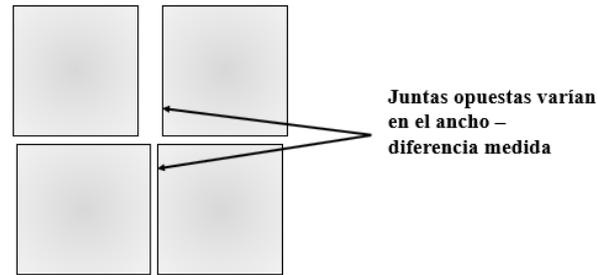


Figura 8. Diferencias en los anchos entre juntas adyacentes.

Fuente: Tomado de (Forsythe, 2006)

A estos 50 clientes se les pidió que inspeccionaran, desde una altura normal y mirando hacia abajo en dirección perpendicular, un área de 5 m<sup>2</sup> para aplicar el concepto de “Just a Noticeable Difference” por medio de la identificación de las juntas adyacentes que fueran notablemente diferentes en la anchura. La zona de muestreo fue elegida por el consumidor, pero la zona de inspección (5 m<sup>2</sup>) fue declarada régimen estándar debido a que es un área que comúnmente tiene acabado en recubrimiento en las viviendas. Asimismo, se evidenció en las pruebas piloto para desarrollar el experimento, que la evaluación de zonas más amplias requería más tiempo para la inspección, por lo cual, los clientes no se concentraban y se producían sentimientos negativos.

Finalmente, las juntas percibidas como notablemente diferentes fueron registradas gracias a la medición de la anchura máxima de la junta más ancha y la anchura mínima de la junta más estrecha. Estas mediciones se convirtieron en una diferencia porcentual al utilizar la ley de Weber:

$$k = \frac{\text{Ancho máximo de junta} - \text{Ancho mínimo de la junta}}{\text{Ancho mínimo de la junta}} \times 100 \quad (5)$$

La constante k se expresa como una proporción de la anchura mínima de la junta, la cual fue comparada posteriormente entre proyectos para contribuir a la capacidad de desarrollar una tolerancia estándar.

En total se tomaron 402 lecturas de anchos notablemente diferentes en juntas adyacentes de baldosas. El ancho de las juntas individuales oscilaba entre 1 y 9 mm, y la varianza entre

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

conjuntos de juntas diferentes oscilaba entre una varianza mínima del 4 % a una máxima del 400 % en el ancho de las juntas de baldosas, donde el valor medio fue de 74 %.

De estas mediciones, 142 casos fueron reconocidos por los consumidores como estéticamente desagradables, y con respecto a ello, estas juntas oscilaron entre una varianza mínima de 40 % en juntas adyacentes de baldosas a un máximo de 400 % de varianza, donde el valor medio fue de 115 %. Es preciso indicar que la ley de Weber proporciona orientación para establecer umbrales de tolerancia al afirmar que la “diferencia apenas notable” debe ocurrir el 75 % del tiempo para proporcionar una constante confiable.

Un punto adicional del estudio se realizó para determinar cuántas juntas estéticamente desagradables en un área dada causaban que los clientes se quejaran posteriormente (posventa). Para ello, se decidió preguntar a los consumidores si el ancho de la junta podía causar que se quejaran con el contratista. Como resultado, el 54 % de los participantes que identificaron alguna junta desagradable y respondieron la pregunta, indicaron que no se quejarían. Como tal, parecería que los consumidores están preparados para tolerar cierta cantidad de juntas con las que estéticamente no están conformes, si esta situación está mediada por el acabado general y la apariencia del resto de trabajo. Por ejemplo, Singh sugirió que, entre los diferentes tipos de comportamientos de reclamación del consumidor, hay una oposición a quejarse y como resultado se acepta el trabajo con el que no se está satisfecho (Forsythe 2006).

Finalmente, el 75 % restante de las observaciones indicaron que el ancho de la junta se percibía como estéticamente desagradable en situaciones donde había al menos 70 % de varianza entre los anchos de las juntas, es decir, donde la junta más ancha era al menos 1.7 veces más ancha que la junta adyacente más estrecha. Junto con los datos, se deduce que las personas que percibieron estas juntas, pero no se quejaron, ven aproximadamente 2.8 juntas estéticamente desagradables en un área de 5 m<sup>2</sup>, y los niveles más elevados pueden llevar a una posventa, pero desafortunadamente el punto en que esto empieza a ocurrir no puede ser

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

determinado por este estudio (al parecer, se aceptan por lo menos tres en el área de interés).

Así, el autor concluyo que la forma de involucrar tanto las capacidades de producción del sector de construcción de vivienda como la percepción del cliente, debe estar dado por:

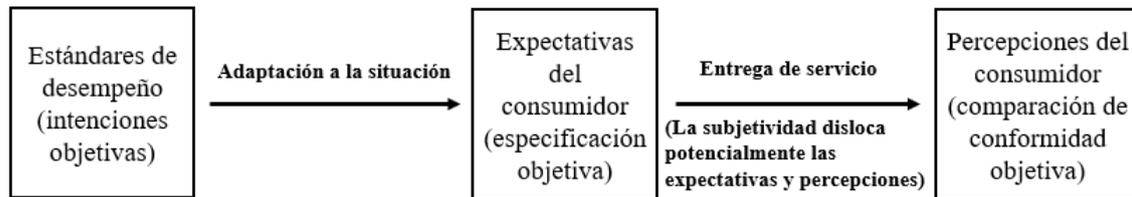


Figura 9. Cómo la subjetividad afecta las intenciones objetivas.

Fuente: Tomado de (Forsythe 1999)

### 5.2.7 Los reclamos posventa como consecuencia de la desviación no tolerable.

La importancia de estudiar los reclamos posventa radica en que la eliminación o potencial reducción de los defectos proporcionará un fuerte incentivo financiero para mejorar el proceso de construcción. En contexto, Forcada et al. (2012) han dedicado sus estudios a recopilar bases de datos certificadas donde se albergan defectos de la industria de construcción de vivienda en España para categorizarlas. A través de un análisis en *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS, en español Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales), la prueba T y la correlación paramétrica de Pearson se analizaron los reclamos posventas de algunas empresas. Como resultado, la investigación reveló que los clientes detectan más los defectos en edificios que en casas, debido a la menor calidad de los materiales utilizados y al calendario más ajustado al que están sujetos estos proyectos (Forcada et al. 2012), además se evidenció que los defectos más comunes son: instalación inapropiada, funcionalidad afectada y apariencia superficial deficiente (Forcada et al. 2014).

El estudio de la calidad en el sector de la construcción, a partir del acercamiento centrado en el análisis de defectos, ha recibido considerable atención (Ilozor, Okoroh, Egbu, & Archicentre, 2004) (Mills, Love, & Williams, 2009) (Forcada, Macarulla, Fuertes, Casals,

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Gangolells, & Roca, 2012). Sin embargo, los estudios que abordan específicamente la calidad en construcciones, a partir del análisis de defectos posventa, son limitados (Forcada, Macarulla, & Love, 2013) (Georgiou, Love, & Smith, 1999) (Ilozor, Okoroh, Egbu, & Archicentre, 2004) (Mills, Love, & Williams, 2009) (Sommerville & McCosh, 2006) .

A lo anterior se suma que pocos autores han profundizado en la investigación de detección de defectos en la construcción de manera objetiva, y los existentes lo han hecho en la rama estructural, donde el propósito es garantizar que los elementos de una vivienda son seguros; no obstante, la industria de la construcción es un conjunto de componentes en el que la fase de acabados de obra juega un papel clave en la calidad de los elementos.

Un ejemplo de investigación para detectar defectos estructurales fue realizada por Nakatsuji, quien propuso una ecuación con base en sus propios datos del manual de examen ultrasónico de soldaduras en la construcción de edificios de acero (Ichikawa 1985). Para llegar a esta ecuación utilizó la distribución continua de Weibull - una teoría de la probabilidad para identificar defectos mediante la modelación de la distribución de fallos (en sistemas) o las frecuencias de los elementos a utilizar cuando la tasa de fallos es proporcional en el tiempo -, sin embargo, dicha teoría supone niveles mayores de defectos, como la deficiencia en la calidad de la soldadura, lo cual puede afectar gravemente la estabilidad de la estructura.

Estas investigaciones evidencian que las tolerancias deben estar presentes en las diferentes fases del proyecto como se muestra en la figura 10. Los diferentes actores que intervienen en el proyecto son esenciales para el intercambio de conocimientos en las diferentes fases y el seguimiento de una secuencia efectiva del proyecto, puesto que, particularmente en la industria de la construcción, todo el equipo es responsable de entregar un producto de calidad (Gomez et al. 2019). Las tolerancias son tan importantes para quien trabaja en industrializar el sector de la construcción, como para los arquitectos (en el diseño), los gerentes de la construcción (en el sitio) y los fabricantes (oficios de la construcción) (Savoini and Lafhaj 2017).

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.



Figura 10. Tolerancias en las fases de construcción.

Fuente: elaboración propia

## 6 METODOLOGÍA

El enfoque de este trabajo de investigación es mixto: combina tanto el enfoque cuantitativo, debido a que permite el análisis de valores a través de la recolección de datos con los cuales pueden usarse medidas estadísticas para evaluarlos, y el componente cualitativo que recopila información proveniente de registros no numéricos. Por otra parte, según el nivel de profundización, es de carácter descriptivo, ya que especifica las propiedades y el comportamiento de las desviaciones y registros posventas que son sometidos a un análisis. El estudio se desarrolló en dos fases: recopilación de la información y análisis de esta.

Este documento está enmarcado en la revisión bibliográfica y en el análisis específico de los datos de desviación presentados en los elementos que componen un bien inmueble, y de los registros de las reclamaciones posventas presentadas en la industria de la construcción. A raíz de lo anterior, se identificó como punto fundamental para el buen desarrollo del proyecto, indagar casos de estudio de las tolerancias tanto locales como internacionales, y hacer énfasis en el análisis estadístico descriptivo de los valores albergados en el Observatorio de Tolerancias para la Construcción, y las reclamaciones posventas alojadas en el Observatorio Control Solicitud Posventas.

Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos específicos se utilizaron diferentes herramientas metodológicas, como se muestra a continuación:

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

**Objetivo 1: levantar el estado del arte de la definición de umbrales de tolerancias en proyectos de construcción.**

*Herramienta metodológica: Búsqueda de información secundaria a partir de bases de datos bibliográficas.* Con el fin de conocer cómo se definen y describen las tolerancias a nivel mundial y local en el sector de la construcción, sus antecedentes, bases teóricas, clasificaciones y las metodologías existentes para establecerlas, fue necesario realizar un estudio inicial acerca del tema.

**Objetivo 2: recolectar datos reales de desviaciones presentadas en los elementos constructivos.**

*Herramienta metodológica: Recolección de datos del Observatorio de Tolerancias para la Construcción.* ConstruGarantías lleva varios años elaborando una base de datos construida a partir de mediciones en campo de desviaciones presentadas en los elementos que componen un bien inmueble en Colombia, con el fin de conocer las capacidades reales de producción de la industria local en términos de tecnologías utilizadas, materiales, herramientas de supervisión y control, entre otras. Estos valores, que hasta la fecha de la investigación alcanzan aproximadamente ciento sesenta y ocho mil registros, se encuentran alojados en el Observatorio Tolerancias de Construcción y están organizados de tal forma que se puedan percibir comportamientos claros y concretos de estos y, que, a su vez, permitan generar informes según los requerimientos específicos del investigador.

**Objetivo 3: analizar los datos de desviaciones obtenidos que permita evidenciar tendencias de aparición, dependencias y comportamiento dependiendo del recinto, con miras al establecimiento de umbrales de tolerancia**

*Herramienta metodológica: Análisis estadístico descriptivo de datos de desviaciones.* Para analizar los datos que reposan en el Observatorio Tolerancias de Construcción se realizó un análisis estadístico descriptivo, análisis de tendencias, relaciones entre variables y pruebas de bondad por medio de programas de cómputo como Excel y Mathlab.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Además, para realizar un análisis más profundo, se optó por decidir cuáles familias podrían usarse como caso de estudio, donde las más viables para el análisis eran: Pisos, Muros, Recubrimientos y Cielos debido a la cantidad de datos que las componían, el total de combinaciones posibles, la artesanidad que conllevan y su impacto en el sector. Basado en estas características, y entendiendo que es una familia común en el sector, se seleccionó la familia Cielos.

**Objetivo 4: recolectar información de reclamaciones posventas del sector local.**

*Herramienta metodológica: Recolección de reclamaciones posventas del Observatorio Control Solicitud Posventas.* Uno de los grandes aportes de ConstruGarantías al sector de construcción de vivienda es la creación de una plataforma denominada Observatorio Control Solicitudes Posventas en el 2013, la cual es alimentada constantemente con registros de reclamaciones del sector local. La selección de esta base de datos se debe a que es la única fuente que alberga datos consolidados de una muestra representativa de empresas de este sector, además de que en ella se recopilan los defectos e identifican los mayores eventos presentados en los bienes inmuebles de los proyectos de empresas, con la ventaja de que están organizados de tal forma que se conozca de manera clara y explícita: fechas de recepción de solicitud, visita, inicio y finalización de trabajos, ubicación o recinto donde se presentó la posventa, clasificación de la posventa (posventa, no posventa, detalle de acta de entrega, atención comercial y faltante de obra), impacto (leve, moderado y grave), origen (almacenamiento, diseño, mano de obra, prácticas deficientes), familia, sistema, elemento, material, daño causal y costo de reparación de la posventa registrada, lo cual es conveniente para posteriormente realizar informes.

**Objetivo 5: analizar las capacidades de detección del cliente a través de reclamaciones posventas obtenidas y reclamaciones consignadas al momento de la entrega de un bien inmueble, con miras a la identificación de las desviaciones más frecuentes y las proporciones de estas asociadas a la posición y forma de los elementos.**

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

**Herramienta metodológica: Análisis estadístico descriptivo de registros posventas y observación no participativa.** Para analizar los registros posventas que se encuentran alojados en el Observatorio Solicitudes Posventas, se realizó un análisis estadístico mediante representaciones gráficas como diagramas de barras y gráficos de torta, con el fin de conocer cuáles son las reclamaciones posventa más frecuentes del sector local, cuáles son las especificaciones de los proyectos y los elementos donde más se presentan, y así distinguir cuáles son de alto impacto según el criterio de los clientes.

Dado que el porcentaje de reclamaciones registradas en el Observatorio de Posventas de los defectos asociados a la posición y forma de los elementos es bajo, se optó por realizar siete acompañamientos de entrega de bienes inmuebles de cinco proyectos de cinco empresas constructoras, con el fin de conocer qué defectos detecta el cliente y cómo influyen las emociones en el momento de la recepción del inmueble.

**Objetivo 6: relacionar el análisis de desviaciones y las capacidades de percepción del cliente con miras al establecimiento de umbrales de tolerancia.**

**Herramienta metodológica: Definir recomendaciones para el establecimiento confiable de tolerancias teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de las desviaciones y capacidades de percepción del cliente.**

Finalmente, para poder establecer valores de tolerancia confiables, es necesario incluir una serie de recomendaciones que permitan incluir y relacionar tanto los resultados del análisis de desviaciones como el análisis de las capacidades de detección del cliente.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 TOLERANCIAS CONSTRUCTIVAS CON BASE EN ANÁLISIS

#### ESTADÍSTICO DE DATOS SISTEMÁTICOS DE CONSTRUGARANTÍAS

##### 7.1.1 Datos del Observatorio de Tolerancias de Construcción

Estos datos corresponden a variables cuantitativas que representan la medición en milímetros de las desviaciones presentadas en los elementos constructivos. Las figuras que se muestran a continuación evidencian histogramas representativos de los datos analizados; así pues, estos diagramas, que son comúnmente utilizados por las guías de estándares y la versión primaria de la distribución estadística de los datos, permiten visualizar la frecuencia relativa de los valores de desviación. Asimismo, los histogramas posibilitaron el análisis de estadísticas centrales y distribución poblacional, concentración de la masa, simetría e identificación de datos atípicos. En la mayoría de estos diagramas de barras se evidencian datos que difieren del grupo que se analiza e influyen potencialmente en la estimación de parámetros.

Los histogramas analizados fueron generados por la plataforma con corte a la fecha 6 de mayo de 2019, correspondientes a 244 combinaciones (ver anexo 1). Estas combinaciones fueron elegidas asegurando la cantidad de datos suficiente para conservar un patrón homogéneo de comportamiento.

Por temas prácticos, se analizaron los datos de cada familia completa, por lo que el primer paso a seguir era organizar estos de manera que cada familia, acompañada con un elemento, material y variable, tuviera su propio diagrama de barras. Los histogramas resultantes evidencian las cuatro formas teóricas de interpretarlos, a saber. Entre los ejemplos:

- **Simétrico:** los datos indican una distribución normal, que es el ideal, y la masa se encuentra centrada coherentemente. Esto también se conoce como “neutro”.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

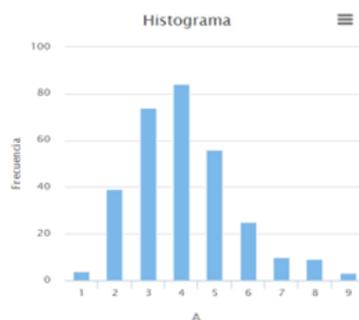


Figura 11. Histograma simétrico (Cielo-Acabado de placa-Texturizados (graniacril, graniplast, corev-Planeidad)).

Fuente: Observatorio de Tolerancias

- **Bimodal:** deja ver que los datos pueden provenir de dos muestras o dos procesos diferentes.

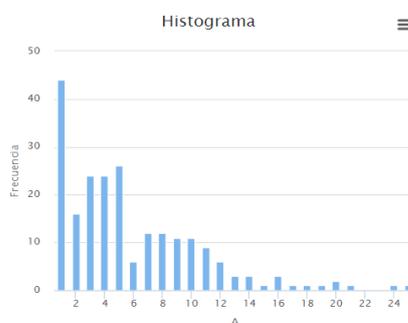


Figura 12. Histograma bimodal (Cielos-Acabado de placa-Estuco sobre placa de concreto-Horizontalidad).

Fuente: Observatorio de Tolerancias

- **Asimétrico:** son histogramas que no cuentan con una distribución normal, y, por ende, pueden tener presencia de colas pesadas (derecha o izquierda).

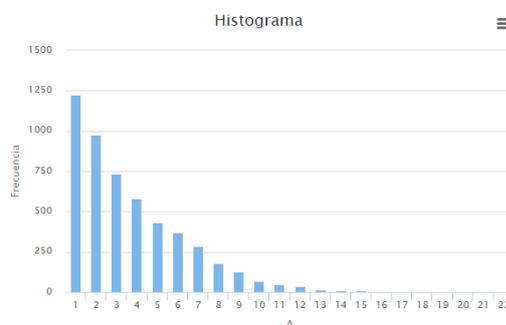


Figura 13. Histograma asimétrico (Muro-Muro-Concreto-Verticalidad).

Fuente: Observatorio de Tolerancias.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

- **Con datos atípicos:** son gráficos que contienen datos que no se están en el rango normal de los datos y que pueden ser evidencia de otra muestra o de otro proceso.

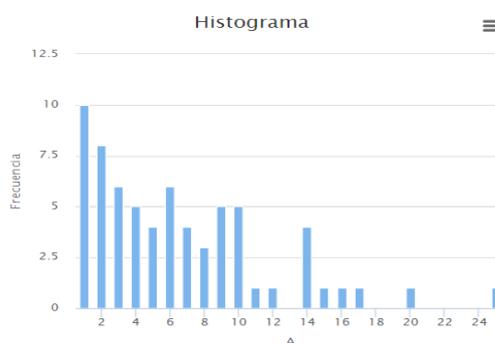


Figura 14. Histograma con datos atípicos (Cielos-Acabado de placa-Sin recubrimiento Horizontalidad).

Fuente: Observatorio de Tolerancias

Cabe destacar que la mayoría de las combinaciones tienen diagramas con interpretación asimétrica con sesgo positivo, lo que indica que las desviaciones están concentradas en valores pequeños, es decir, que en la mayoría de los casos los elementos poseen desviaciones bajas.

#### 7.1.1.1 Datos de todas las familias

Aunque se ha mencionado que la precisión de los resultados de los procesos de ejecución en la industria de la construcción es baja debido a múltiples factores, al analizar de manera general todas las familias, se evidencia que para el 79 % de las combinaciones, la concentración de la masa se encuentra en valores pequeños. Esta observación sugiere que la mayoría de los valores de desviaciones presentados en los elementos constructivos están referenciados a procesos en los que se pueden controlar la calidad.

La Tabla 2 muestra que, en las familias que involucran elementos de carpintería, que son mayormente elementos prefabricados, el valor de desviación que más se repite (moda) es 1 mm, el menor valor posible que puede digitarse en la plataforma, además de que los histogramas son de distribución uniforme. En contraste, las actividades que son realizadas en sitio, que tienen un menor control de calidad y que llevan un mayor grado de artesanía, por

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Por ejemplo, los cielos, muros y pisos, presentan una concentración de datos más alejados del origen, es decir, desviaciones más grandes para las variables asociadas a la posición y forma de los elementos.

Tabla 2. Familia vs. Veces que se repite 1mm con respecto a otros valores de desviación (Porcentaje).

Fuente: Elaboración propia.

<b>Familia</b>	<b>Veces que se repite 1 mm con respecto a otros valores de desviación (Porcentaje)</b>
Cielos	56 %
Pisos	74 %
Interiores de closet y vestier	100 %
Muebles de baño y cocina	94 %
Zócalos / Guardaescobas	95 %
Puertas, ventanas, cabinas y frentes de closets	87 %
Muros	38 %
Recubrimientos	89 %

Posteriormente, se realizó el mismo análisis para cada una de las variables que se asocian a la posición y forma de los elementos, donde se evidencia que los valores de desviación de las variables escuadría, horizontalidad, planeidad y rectitud son mayores o más alejados del ideal (0). Además, en cuanto a la cantidad de datos, hay variables como la rectitud que son más escasas de encontrar para su medición, mientras que la verticalidad y la horizontalidad son más abundantes, puesto que se pueden tomar varias medidas sobre la misma superficie de un mismo elemento.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Tabla 3. *Variable vs. Veces que se repite 1mm con respecto a otros valores de desviación*

(Porcentaje)

<b>Variable</b>	<b>Veces que se repite 1 mm con respecto a otros valores (Porcentaje)</b>
Abertura en unión entre elementos	90 %
Alineación	93 %
Ancho de junta = 3 mm (Recubrimientos)	100 %
Ancho de junta = 10 mm (Muros)	100 %
Ancho de junta = 3 mm (Pisos)	100 %
Ancho de junta = 4 mm (Pisos)	100 %
Escuadría	64 %
Horizontalidad	72 %
Paralelismo	69 %
Planeidad	73 %
Rectitud	74 %
Resalto	96 %
Verticalidad	81 %

No obstante, aunque se afirme que los elementos prefabricados, como los parales, los mesones, entre otros, tienen tendencia a ser más precisos y a presentar desviaciones menores, al momento de medir variables como la verticalidad, la horizontalidad y el paralelismo, que involucran una variable de instalación en sitio por mano de obra, se observa que los valores de desviaciones son más altos que los presentados en las variables que son controladas en el proceso de fabricación de los elementos.

Finalmente, puesto que los porcentajes en los que se evidencia que la calidad de los elementos construidos en el sector de la construcción de vivienda es buena, aunque difiera según la familia y variable, ya que la mayoría de los datos medidos están agrupados en el mínimo valor que permite la plataforma, por lo cual es necesario que el análisis de esta investigación se realice a familias que concentren su masa de datos con valores mayores.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

#### **7.1.1.2 Detección de outliers**

En estadística un outlier es un dato que se encuentran inusualmente lejos del cuerpo principal de los datos (Devore and Berk 1989) y puede afectar negativamente el análisis de una muestra, aunque también puede evidenciar un error en el proceso.

Los procesos requeridos para la construcción de los elementos pueden dar paso a desviaciones y en los histogramas es posible percibir valores extremos que hacen referencia a valores de desviación muy grandes para su muestra, los cuales pueden ser consecuencia de múltiples factores como, por ejemplo, errores humanos, calibración inadecuada de los instrumentos, posición inadecuada de las herramientas al momento de la medición, alta rotación de personal que no se capacite, entre otros.

Para esta investigación, la detección de *outliers* se realizó por medio de la función “*itsoutlier(A)*” de Matlab, la cual detecta un valor anómalo cuando está a más de tres veces desviaciones absolutas de la mediana.

#### **7.1.1.3 Estudio de caso: familia Cielos**

El cielo se define como aquel elemento constructivo que se ubican en la parte superior de cada nivel. Esta familia fue escogida como caso de estudio para esta investigación con base a la cantidad de datos disponibles (9950 mediciones) y el número de combinaciones posibles (18 combinaciones) que permitieran generar un análisis estadístico robusto, y a su vez, al catalogar esta actividad con un nivel alto de artesanalidad. La denominación de las combinaciones está compilada en la Tabla 4.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Tabla 4. *Combinaciones Familia Cielo*

Fuente: Elaboración propia

<b>Combinación</b>	<b>Elemento</b>	<b>Material</b>	<b>Variable</b>
<b>1</b>	Acabado de placa	Con revoque	Escuadría
<b>2</b>	Acabado de placa	Estuco sobre placa de concreto	Escuadría
<b>3</b>	Acabado de placa	Estuco sobre placa de concreto	Horizontalidad
<b>4</b>	Acabado de placa	Estuco sobre placa de concreto	Planeidad
<b>5</b>	Acabado de placa	Sin recubrimiento	Escuadría
<b>6</b>	Acabado de placa	Sin recubrimiento	Horizontalidad
<b>7</b>	Acabado de placa	Sin recubrimiento	Planeidad
<b>8</b>	Acabado de placa	Texturizados (graniacril, graniplast, corev)	Escuadría
<b>9</b>	Acabado de placa	Texturizados (graniacril, graniplast, corev)	Horizontalidad
<b>10</b>	Acabado de placa	Texturizados (graniacril, graniplast, corev)	Planeidad
<b>11</b>	Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles	Paneles de yeso	Escuadría
<b>12</b>	Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles	Paneles de yeso	Horizontalidad
<b>13</b>	Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles	Paneles de yeso	Planeidad
<b>14</b>	Paneles masillados (terminado)	Yeso (Drywall)	Escuadría
<b>15</b>	Paneles masillados (terminado)	Yeso (Drywall)	Horizontalidad
<b>16</b>	Paneles masillados (terminado)	Yeso (Drywall)	Planeidad
<b>17</b>	Paneles sin masilla (emplacado)	Yeso (Drywall)	Horizontalidad
<b>18</b>	Paneles sin masilla (emplacado)	Yeso (Drywall)	Planeidad

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Para poder realizar un análisis estadístico confiable se procede a eliminar los outliers, con el fin de que estos no lleven a resultados sesgados y afecten el análisis, ya que pueden tener repercusiones en la media. Para esta familia se identificaron en total 345 datos atípicos, que corresponden a aproximadamente el 3.5 % de los datos, los cuales fueron evidenciados mediante la metodología de boxplot (ver figura 15), para luego ser removidos.

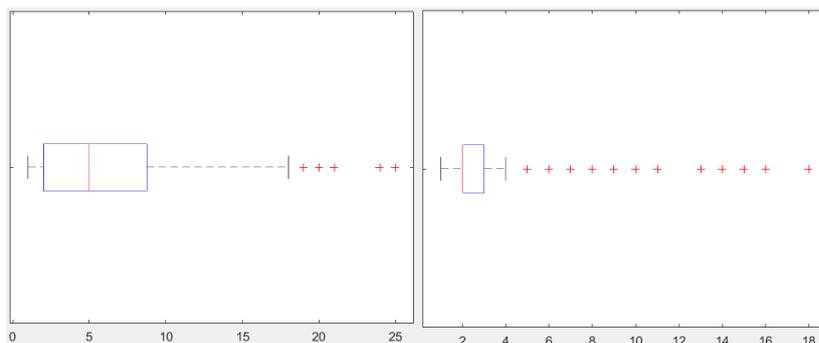


Figura 15. Outliers combinación 3 y 4.

Fuente: Observatorio de Tolerancias

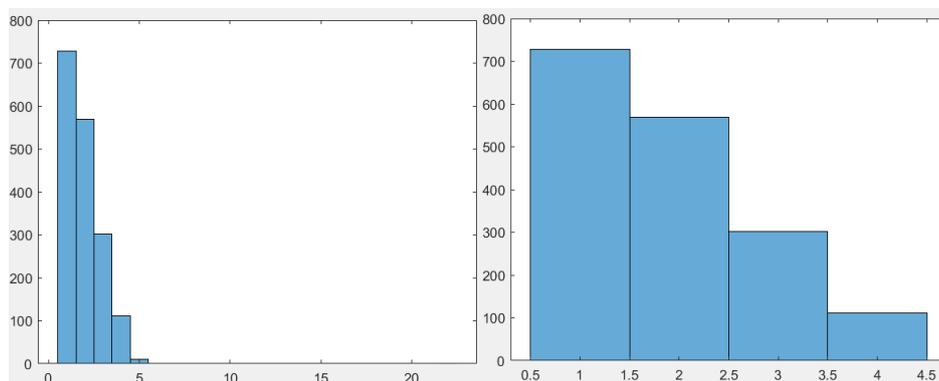


Figura 16. Histograma con presencia de outliers y después de eliminar los outliers respectivamente de la combinación 16.

Fuente: Observatorio de Tolerancias.

Para ilustrar el proceso que se siguió, se toma como ejemplo la combinación 2 (Cielos-Acabado de placa-Estuco sobre placa de concreto-Escuadría) que cuenta con 404 datos de desviaciones. El proceso está representado por el siguiente algoritmo:

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

```

13 %Combinación 2 con outliers
14 comb2 = find(cielosr(:,1) == 1 & cielosr(:,2) == 5 & cielosr(:,3) == 11 & cielosr(:,4) == 2);
15 comb_2 = cielosr(comb2,:);
16 c2 = (comb_2(:,5));
17 figure; boxplot(c2,'orientation','Horizontal')
18 figure; histogram(c2)
19 %Combinación 2 sin outliers
20 c21 = (c2limpio(:,5));
21 figure; histogram(c21);
22 title('Combinación 2')
23 figure; adjustedboxplot(c2,'orientation','horizontal')
24 title('Combinación 2')
25 median(c21)
26 mad(c21)
27 qqplot(c21,makedist('Normal'))
28 [h,p] = kstest(c21,'CDF',makedist('Lognormal',mean(c21),var(c21)))

```

Figura 17. Código para el análisis de la combinación 2.

Luego de eliminar los outliers tras aplicar del método de la caja de bigotes, se puede observar que la ausencia de datos atípicos no cambia la estructura de la gráfica.

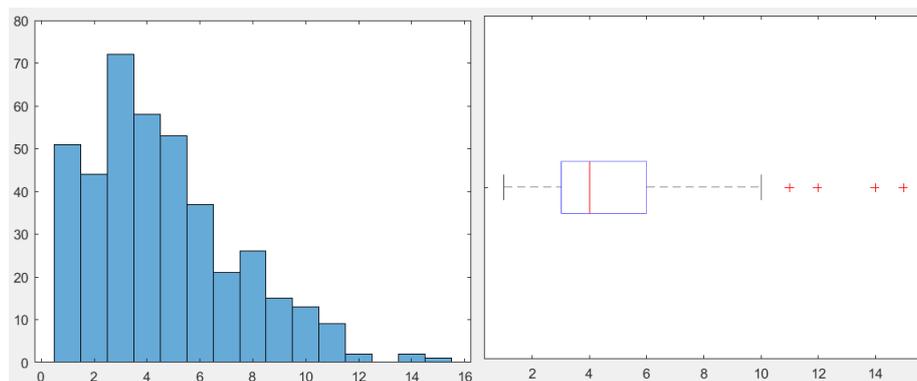


Figura 18. Histograma con outliers y detección de outliers con boxplot.

Fuente: Observatorio de Tolerancias.

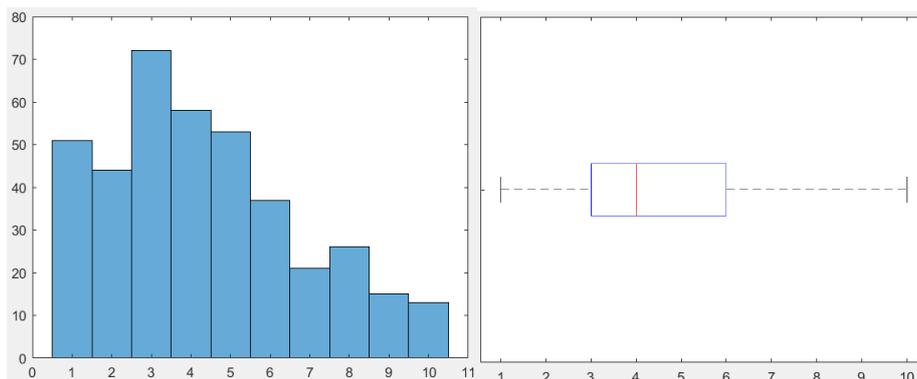


Figura 19. Diagrama de barras y boxplot sin outliers.

Fuente: Observatorio de Tolerancias.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Posteriormente, se realizó un análisis gráfico mediante una *DistributionFitter*, a través de la cual se probaron varias distribuciones, para evidenciar cuál se ajustaba más gráficamente al comportamiento de los datos; además, se hallaron la media y la varianza para cada una de ellas, como se expone en la tabla 5:

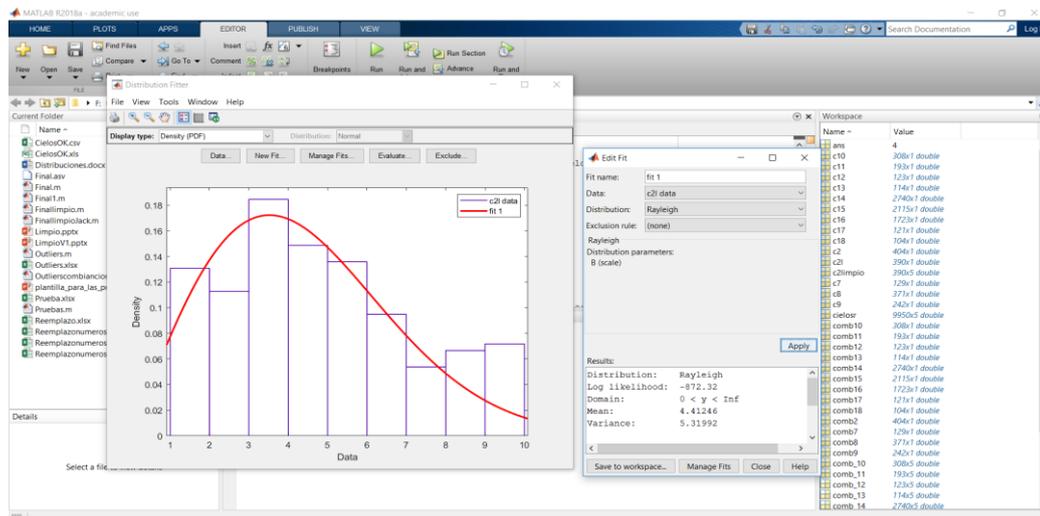


Figura 20. DistributionFitter para combinación 16.

Fuente: elaboración propia a partir de Matlab.

Tabla 5. Media y varianza de las diferentes distribuciones.

Distribución	Media	Varianza
Birnbaum-Saunders	4.328	9.258
Extreme Value	4.136	10.845
Gamma	4.346	6.706
Generalized Extreme Value	4.324	6.011
Logistic	4.173	6.564
Lognormal	4.474	10.915
Nakagami	4.358	5.799
Normal	4.344	5.938
Poisson	4.344	4.344
Rayleigh	4.412	5.320
Rician	4.414	5.322
Weibull	4.352	5.849

Adicionalmente, con el fin de profundizar en esta investigación, se decidió realizar un análisis gráfico adicional obteniendo las gráficas QQ Plot, que evidencian qué tanto se ajustan los datos a la distribución teórica seleccionada, como se muestra a continuación:

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

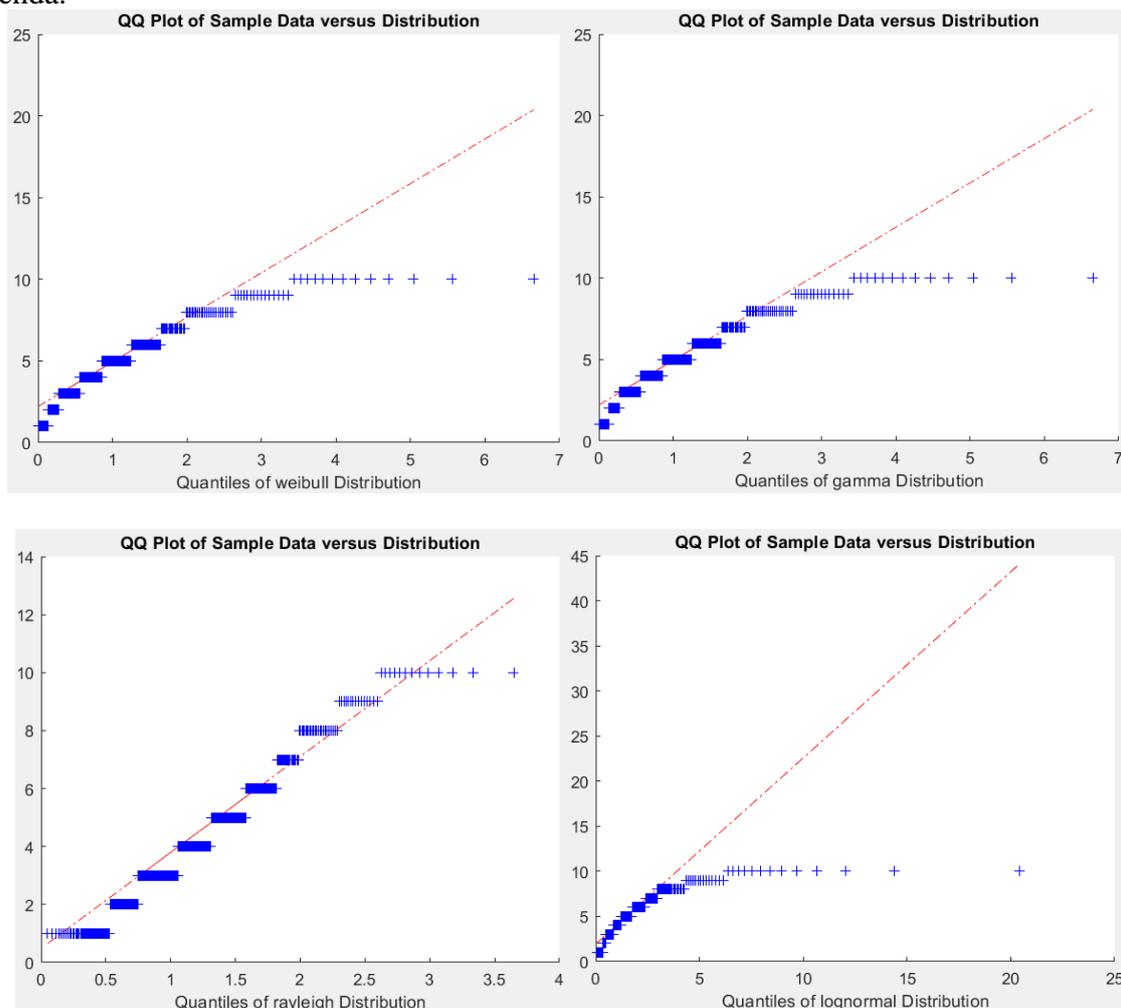


Figura 21. Gráficas QQ-Plot.

Fuente: elaboración propia a partir de Matlab.

De esta manera, se puede concluir que, aunque los datos se tratan de ajustar a la recta, ninguno cumple perfectamente, por lo tanto, se vuelve necesario generar una prueba de bondad que apoye la selección de la distribución. Como test analítico, para verificar la distribución teórica ajustada a la distribución empírica, se utilizó la prueba no paramétrica de Kolmogorov – Smirnov:

Tabla 6. Test KS para las diferentes distribuciones

Test Kolmogorov Smirnov		
Distribución	H	p
Weibull	1	0
Gamma	1	0
Rayleigh	1	-
Lognormal	1	0

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Como se puede observar,  $H = 1$  para todos los casos, lo que indica que se rechaza la hipótesis de normalidad; además,  $p < 0.05$ , lo cual evidencia que el resultado no se dio al azar y que es estadísticamente significativo. Por ende, es probable que si se vuelve a realizar la prueba siga arrojando el mismo resultado, lo que muestra la existencia de un patrón en el cual no se ajustará a la distribución escogida. Por esta razón, se optó por hacer otro tipo de prueba.

En este caso se seleccionó el Chi-cuadrado de Pearson, una prueba de hipótesis que compara la distribución observada de los datos con una distribución esperada de los datos. De tal modo, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 7. *Test Chi-cuadrado para las diferentes distribuciones.*

<b>Test Chi-cuadrado</b>		
<b>Distribución</b>	<b>H</b>	<b>p</b>
Weibull	0	0.074
Gamma	1	0.0036
Rayleigh	0	0.289
Lognormal	1	0
Normal	1	0.008

Como puede observarse en la prueba realizada, la distribución que más se ajusta a los datos de la combinación 2 es la Weibull y Rayleigh, pues para ambos casos  $H = 0$ , además de que  $p > 5\%$ . Esto se da debido a que la distribución de Weibull es una generalización de la distribución Rayleigh, o que la distribución Weibull efectivamente es la función de densidad de Rayleigh, no obstante, la distribución de Rayleigh depende de un solo parámetro, mientras que la de Weibull de dos, lo que hace que esta última sea más versátil.

#### **7.1.1.4 Exploración de los datos**

##### **7.1.1.4.1 Tamaño de la muestra**

Según González (2010), conviene que la población inicial contenga la mayor cantidad posible de datos, la recomendación para la muestra poblacional inicial debe estar comprendido

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

entre 50 - 100 valores, ya que una muestra muy pequeña puede conllevar a que la desviación estándar sea muy alta. Empero, Devore y Berk (1989) afirmaron que una muestra mayor a cuarenta datos es suficiente para justificar el uso del intervalo de confianza de muestras grandes para una media y proporción de la población.

Para el caso del Observatorio de Tolerancias para la Construcción de Edificaciones en Colombia, donde el universo es finito, la confiabilidad, actualmente se trabaja con una muestra donde la cantidad mínima de datos para establecer el valor de tolerancia de una combinación es de 150, distribuidos de tal manera que mínimo sean de tres proyectos de diferentes empresas para que el valor de tolerancia no se encuentre sesgado en un solo proyecto, constructor o contratista, puesto que, se observa la similitud entre las desviaciones dentro del mismo proyecto.

Para esta investigación se decidió calcular el tamaño de la muestra teniendo una seguridad del 99%. Como referencia se utilizó la siguiente fórmula (Herrera Castellanos n.d.):

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (6)$$

Donde:

N = total población (El observatorio cuenta actualmente con 167.834 datos)

$Z_{\alpha}^2$  = nivel de confianza (Para una seguridad del 99%, es de 6,64)

p = proporción esperada (En este caso es del 5%)

q = 1- p (1 - 0,05 = 0,95)

d = precisión (5%)

$$n = \frac{167.834 * 6,64 * 0,05 * 0,95}{0,05^2 * (167.834 - 1) + 6,64 * 0,05 * 0,95}$$

$$n = 126$$

Coincidiendo con lo expresado por González de mínimo 50 valores y teniendo en cuenta que es un valor mayor a lo estipulado por Devore y Berk para un análisis confiable, con la

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. prestación que, al tener los datos de diferentes proyectos se va a tener mejor información acerca de las capacidades de producción y teniendo en cuenta el cálculo realizado, se decidió, para esta investigación, continuar con la muestra con la que trabaja actualmente ConstruGarantías. No obstante, se sugiere que, dependiendo de cada caso particular, se calcule una muestra confiable dependiendo de su universo para poder realizar el análisis con confiabilidad estadística.

#### *7.1.1.4.2 Cartas de control*

El mejoramiento de la calidad se basa en la vigilancia continua de los insumos y de los productos durante los procesos para la elaboración de diferentes bienes o servicios. Cuando es posible medir o comparar los insumos y productos, las herramientas estadísticas como gráficas de control son útiles para evaluar el grado de conformidad alcanzado con respecto a las especificaciones(Carro Paz and González Gómez 2011).

Con el fin de verificar la estabilización de los procesos, se involucraron las cartas de control. Por ejemplo, se realizaron las cartas de control para las 18 combinaciones de la familia Cielos en Excel (ver Anexo 2). A continuación, se muestra el análisis de la carta de control para la combinación 2.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

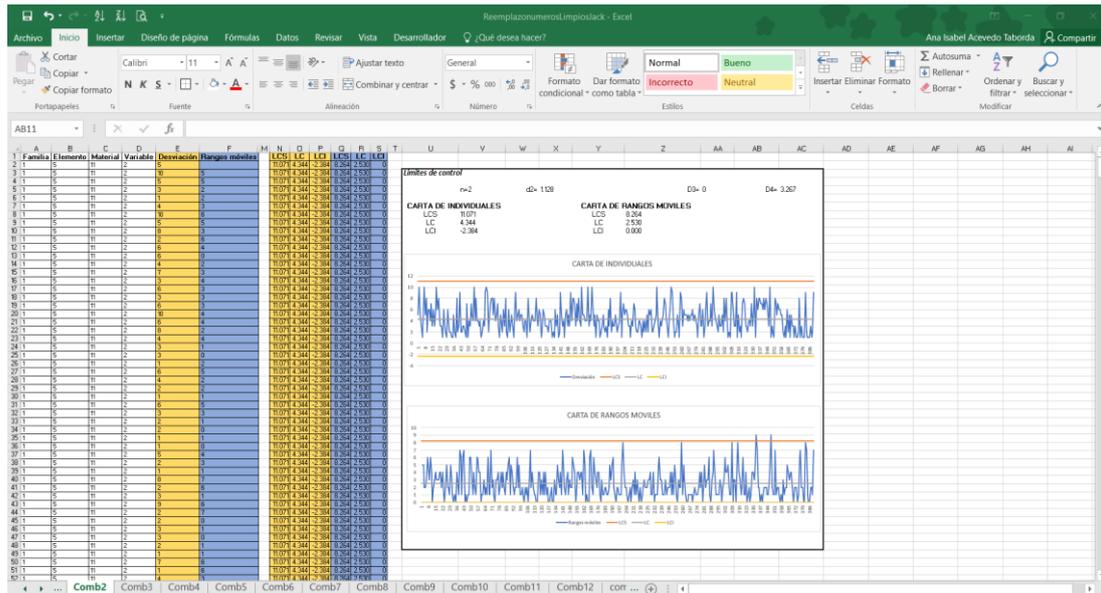


Figura 22. Carta de control para combinación 2 (Cielos-Acabado de placa-Estuco sobre placa de concreto-Escuadría).

Fuente: elaboración propia.

Los valores de  $n$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  y  $d_4$  son proporcionados por tablas y son los siguientes:  $n = 2$  (es el valor posterior menos anterior en valor absoluto),  $d_2 = 1.128$ ,  $d_3 = 0$  y  $d_4 = 3.267$ ,  $\mu_{desviaciones} = 4.343$  (promedio de los datos de desviaciones),  $\mu_{rangos} = 2.530$  (promedio de los datos de rangos móviles). Reemplazando estos valores en las ecuaciones, se encuentran los límites superiores, centrales e inferiores, que establecen los rangos de control.

- Para carta de individuales:

$$\text{Límite Central Superior (LCS)} = \mu_{desviaciones} + 3 * \left( \frac{\mu_{desviaciones}}{d_2} \right) \quad (8)$$

$$\text{Límite Central Superior (LCS)} = 4.344 + 3 * \left( \frac{4.344}{1.128} \right) = 11.071$$

$$\text{Límite Central (LC)} = \mu_{desviaciones} \quad (9)$$

$$\text{Límite Central (LC)} = 4.344$$

$$\text{Límite Central Inferior (LCI)} = \mu_{desviaciones} - 3 * \left( \frac{\mu_{desviaciones}}{d_2} \right)$$

$$\text{Límite Central Inferior (LCI)} = 4.344 - 3 * \left( \frac{4.344}{1.128} \right) = -2.384 \quad (10)$$

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

- Para carta de rangos móviles

$$\text{Límite Central Superior (LCS)} = d_4 * \mu_{\text{rango}} \quad (11)$$

$$\text{Límite Central Superior (LCS)} = 3.267 * 2.530 = 8.264$$

$$\text{Límite Central (LC)} = \mu_{\text{rango}} \quad (12)$$

$$\text{Límite Central (LC)} = 2.530$$

$$\text{Límite Central Inferior (LCI)} = d_3 * \mu_{\text{rango}}$$

$$\text{Límite Central Inferior (LCI)} = 0 * 2.530 = 0 \quad (13)$$

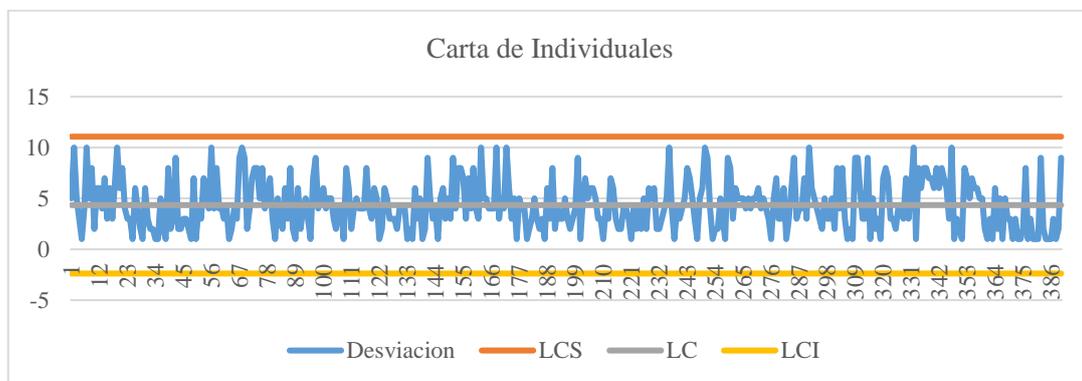


Figura 23. Carta de control de individuales.

Fuente: elaboración propia.

La figura 23 evidencia que el proceso se encuentra bajo control estadístico, por lo tanto, hay una alta probabilidad de que los valores de desviaciones se encuentren dentro de los límites de control. Esta carta de control puede evidenciar si se está implementando procesos con miras a mejoramiento continuo de las empresas y del sector, disminuyendo el rango de límites donde se encuentran los valores de desviaciones. Adicionalmente, sirve para controlar los errores de digitación, medición, calibración de equipos, entre otros.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

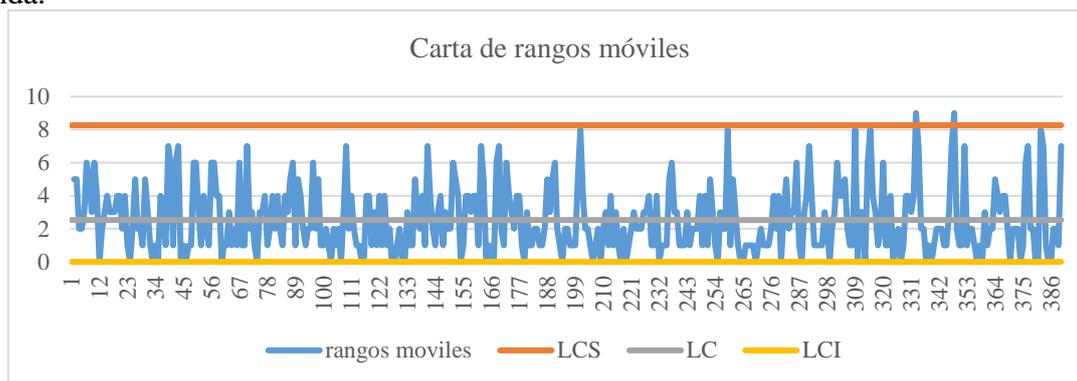


Figura 24. Carta de control de rangos móviles.

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, el rango entre dos observaciones sucesivas del proceso se usa para monitorear la variabilidad del proceso. En la figura 24 se evidencian dos puntos que sobresalen del límite superior, lo cual indica que existen dos mediciones consecutivas que obtuvieron diferencias grandes entre ellas.

Finalmente, se puede observar que el proceso para la combinación 2 está bajo control estadístico, puesto que las desviaciones no sobrepasan los límites de control superior e inferior, es decir, que los procesos están enmarcados en una efectiva gestión de la calidad y que las desviaciones oscilan dentro del límite de control. Lo anterior permite evidenciar la ausencia de desviaciones que tienen un comportamiento ajeno al desenvolvimiento natural del proceso, lo cual complementa los análisis de cada combinación ya que permite conocer las dinámicas de las actividades de construcción además de que es al momento de comparar el comportamiento de la combinación en cada proyecto y nivel.

Estos límites de control no corresponden a los límites de especificación, tolerancias o deseos del proceso (Rivera 2011), sin embargo, los resultados deben estar dentro de los límites de aceptación (tolerancias), de igual forma que definen el rango de variación de este mismo y pueden dar conceptos que permitan plantear mejoras a los límites ya establecidos en el transcurso del tiempo, incrementando la calidad en el sector de la construcción de vivienda.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

A continuación, se relaciona el comportamiento de cada una de las cartas de control de las combinaciones de la familia Cielos:

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Tabla 8. *Comportamiento de para cada carta de control.*

Fuente: elaboración propia

Elemento	Material	Variable	Comportamiento	
			Normal	Anormal
Acabado de placa	Con revoque	Escuadría	✓	
Acabado de placa	Estuco sobre placa de concreto	Escuadría	✓	
Acabado de placa	Estuco sobre placa de concreto	Horizontalidad	✓	
Acabado de placa	Estuco sobre placa de concreto	Planeidad	✓	
Acabado de placa	Sin recubrimiento	Escuadría	✓	
Acabado de placa	Sin recubrimiento	Horizontalidad	✓	
Acabado de placa	Sin recubrimiento	Planeidad	✓	
Acabado de placa	Texturizados (graniacril, graniplast, corev)	Escuadría	✓	
Acabado de placa	Texturizados (graniacril, graniplast, corev)	Horizontalidad	✓	
Acabado de placa	Texturizados (graniacril, graniplast, corev)	Planeidad	✓	
Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles	Paneles de yeso	Escuadría		✗
Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles	Paneles de yeso	Horizontalidad		✗
Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles	Paneles de yeso	Planeidad		✗
Paneles masillados (terminado)	Yeso (Drywall)	Escuadría	✓	
Paneles masillados (terminado)	Yeso (Drywall)	Horizontalidad	✓	
Paneles masillados (terminado)	Yeso (Drywall)	Planeidad	✓	
Paneles sin masilla (emplacado)	Yeso (Drywall)	Horizontalidad		✗
Paneles sin masilla (emplacado)	Yeso (Drywall)	Planeidad		✗

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Estas diferencias en las cartas de control evidencian varios cambios: por ejemplo, para la combinación 12 (Cielos-Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles-Paneles de yeso-Horizontalidad), los primeros 73 valores corresponden a medidas de desviaciones tomadas en un inmueble ubicado en el cuarto nivel, las 50 mediciones restantes fueron tomadas en un inmueble ubicado en el quinto nivel del mismo proyecto. A continuación, se muestra la carta de control para el cuarto y quinto nivel respectivamente:

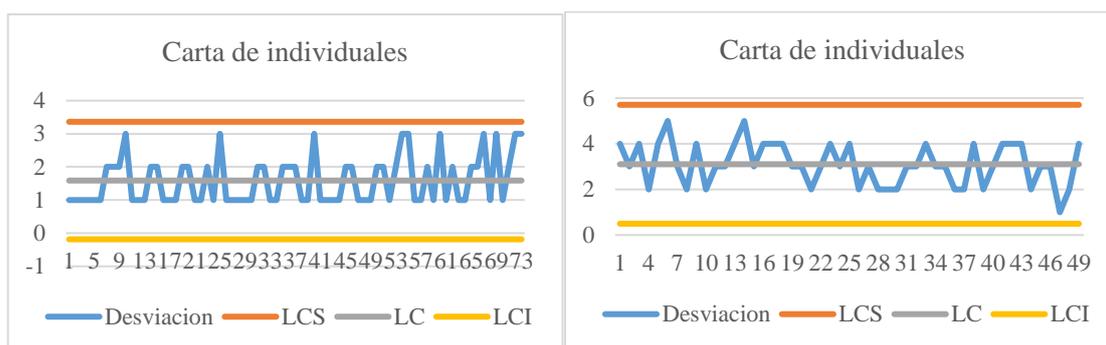


Figura 25. Combinación 12 (Cielos-Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles-Paneles de yeso-Horizontalidad) por niveles.

Fuente: elaboración propia.

Se evidencia que en la figura 25 los límites superiores e inferiores son diferentes en cada nivel, aunque pertenezcan al mismo proyecto.

En síntesis, la figura 26 evidencia notablemente la diferenciación entre las medidas de estos inmuebles, donde las desviaciones en el cuarto nivel son más pequeñas que las del quinto.

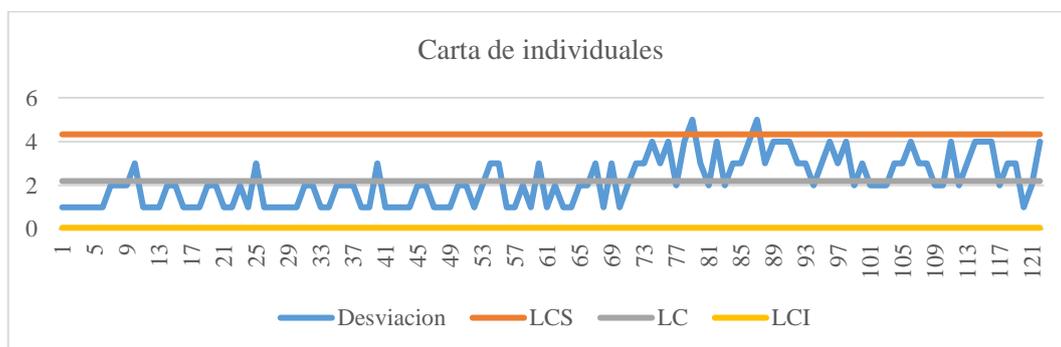


Figura 26. Carta de control para Combinación 12 (Cielos-Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles-Paneles de yeso-Horizontalidad).

Fuente: elaboración propia.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Tabla 9. Límites para la carta de control de la combinación 12 segmentada por niveles.

Fuente: Elaboración propia.

Nivel	LCS	LC	LCI	Rango (Control de calidad)
4	3.362	1.590	-0.184	3.546
5	5.707	3.102	0.497	5.210
<b>Proyecto</b>	4.329	2.197	0.065	4.264

De igual manera, analizando las otras combinaciones que tuvieron un comportamiento anormal pero similar entre ellas, se encontró que las combinaciones 11 y 13, también seguían el patrón de la combinación 12. Estos datos de desviaciones son del elemento Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles de material yeso, pero difieren en la variable. Se resalta que estos valores hacen parte del mismo proyecto.

Por otra parte, las combinaciones 14, 15 y 16, que son paneles masillados terminados de yeso, tienen desviaciones que son grandes para la actividad, las cuales sobrepasan el límite de control superior, sin embargo, no son outliers. Para estos casos se analizaron cuatro proyectos, donde la cantidad de datos que se encuentran en los extremos pertenecen a dos proyectos diferentes y son muy pocos y dispersos. Para los proyectos que se encuentran en el centro de la figura 27, la cantidad de datos por cada proyecto es representativa, lo cual permite realizar los estudios.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

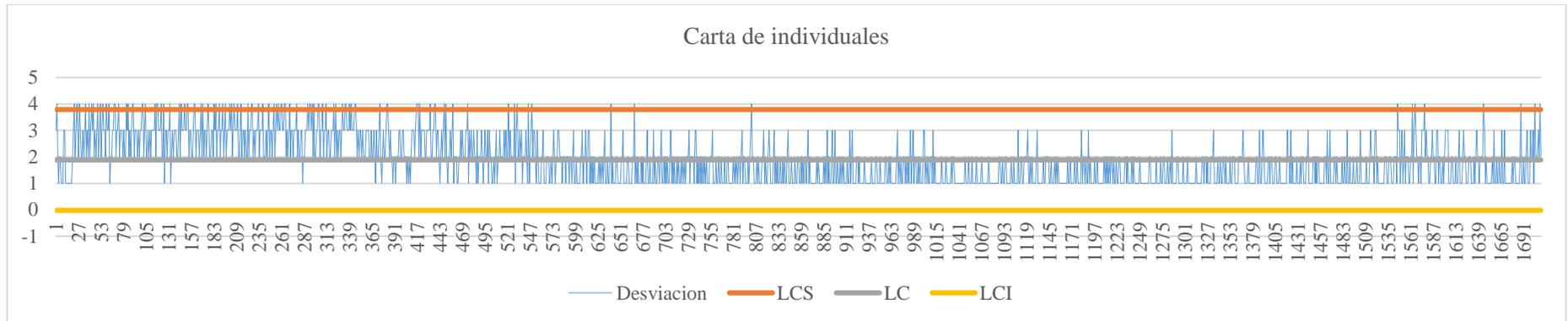


Figura 27. Carta de control para combinación 16 (Cielos-Paneles masillados (terminado)-Yeso-Planeidad).

Fuente: elaboración propia.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Para el caso de la combinación 17 (Cielos-Paneles masillados (emplacado)-Yeso-Horizontalidad) se evidencia la fracturación de la figura (figura 28). Estos quiebres equivalen a cada uno de los tres proyectos, adicional a que los extremos evidencian la existencia de pocos datos en algunos de ellos, mientras que en el proyecto que se representa en el centro de la figura hay un número representativo donde las medidas de las desviaciones fueron de 1 mm en todos los casos.

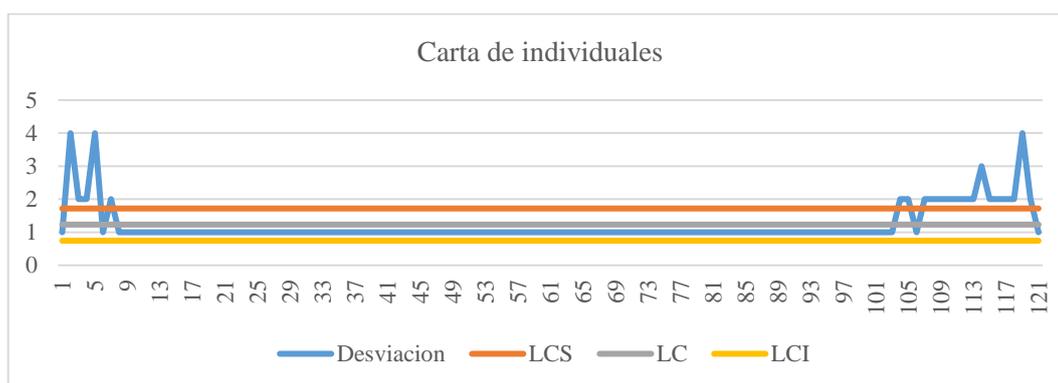


Figura 28. Carta de control para la combinación 17 (Cielos-Paneles masillados (emplacado)-Yeso-Horizontalidad)

Fuente: elaboración propia.

Para el caso de la combinación 18 (Cielos-Paneles masillados (emplacado)-Yeso-Planeidad), los datos alojados en la base datos pertenecen a sólo un proyecto, por lo tanto, la fractura de la figura (ver figura 29) se da debido a un cambio de nivel, pues para los niveles quinto, sexto y séptimo, el comportamiento de los datos es una línea recta con valor de 1 mm, mientras que para el nivel decimocuarto los valores son mayores y dispersos.

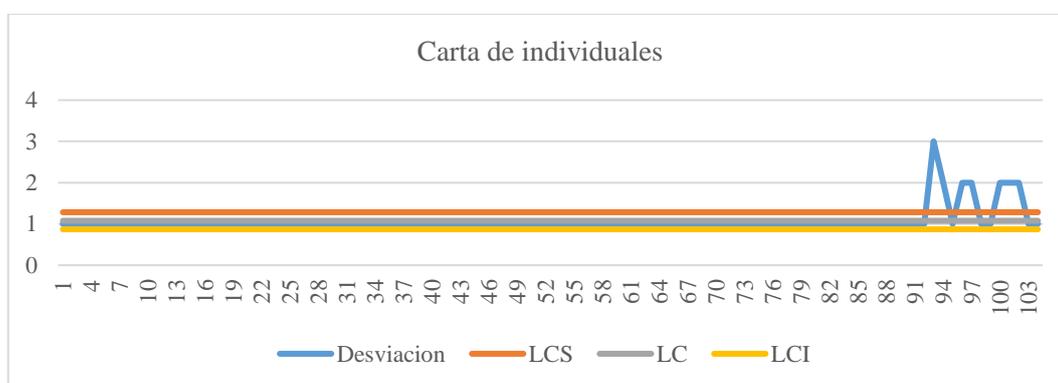


Figura 29. Carta de control para la combinación 18 (Cielos-Paneles masillados (emplacado)-Yeso-Planeidad).

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, aunque para la mayoría de los casos las desviaciones oscilan dentro de los límites calculados, los límites superiores descritos en las cartas de control para cada combinación son superiores a los valores de tolerancia definidos en el Manual de Tolerancias.

#### *7.1.1.4.3 Correlaciones*

Con el fin de conocer si el área influye en la estimación de umbrales de tolerancia, se generaron los histogramas por recintos de cada proyecto para evidenciar el comportamiento de los datos según el espacio. Para este caso, se analizaron 379 combinaciones (ver anexo 3) de 26 proyectos:

No obstante, al notar que cada combinación tenía poca cantidad de datos que no eran suficientes para analizar una tendencia y tomar decisiones, se decidió hacer el mismo ejercicio de separar los datos por recintos, pero esta vez no se discriminaba por proyectos, para que cada combinación tuviera una mayor cantidad de datos y poder analizar el comportamiento de una manera más confiable. Así pues, a partir de este proceso se obtuvieron 206 histogramas (ver anexo 4):

Una vez obtenidos estos histogramas, se decidió eliminar aquellos que no tuvieran más de 40 desviaciones (Devore and Berk 1989). Con esta condición, se obtuvieron 55 combinaciones (recinto-elemento-material-variable) en total (ver anexo 5). De esta forma, se realizaron 196 comparaciones entre recintos (ver anexo 6).

La figura 30 muestra los histogramas donde se comparan la planeidad en estuco sobre placa de concreto de la zona de ropas (histograma 1) y la alcoba1 (histograma 2), donde la abscisa representa la desviación en milímetros y la ordenada la cantidad de datos obtenidos para esa desviación.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

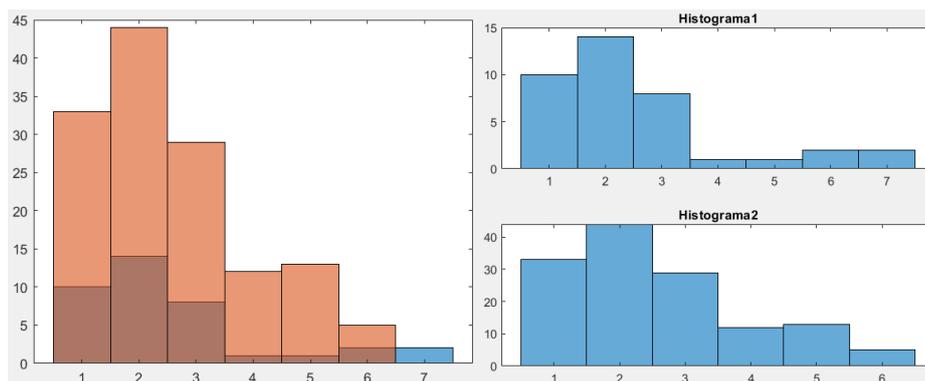


Figura 30. Zona de ropas vs. Alcoba1 (planeidad en estuco sobre placa de concreto).

Fuente: elaboración propia.

Se evidencia que la concentración de la masa de los datos se encuentra entre 1 y 3 mm, independiente de la cantidad de número de desviaciones registradas, concluyendo que, aunque es posible que exista una diferencia de áreas entre estos recintos, el comportamiento de las barras es similar, por lo cual se puede aseverar que para este caso el área no influye para determinar tolerancias en la combinación analizada.

Un mismo análisis se realizó para la misma combinación anterior, comparando los datos de la sala-comedor (histograma 1), con la alcoba 1 (histograma 2).

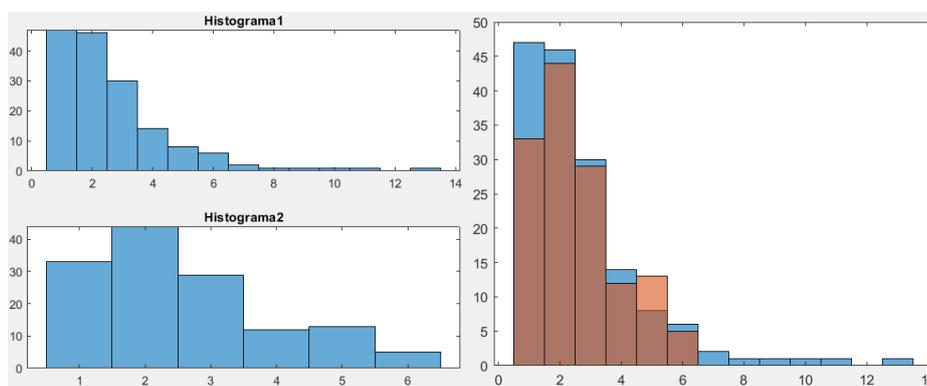


Figura 31. Caso 18: Sala-Comedor Vs. Alcoba1 (planeidad en estuco sobre placa de concreto).

Fuente: elaboración propia.

Para este caso, la mayor cantidad de datos se encuentran alojados en el rango de 1 a 3 mm, similar al caso anterior. Se destaca que, en el histograma 1, los datos de desviaciones alcanzan valores altos (13 mm), que es más del doble del mayor valor que se presenta en el histograma 2 (6 mm).

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Por otro lado, comparando el mismo elemento, acabado de placa con el material de estuco sobre placa de concreto, se decide explorar la variable escuadría entre los recintos sala-comedor y alcoba1:

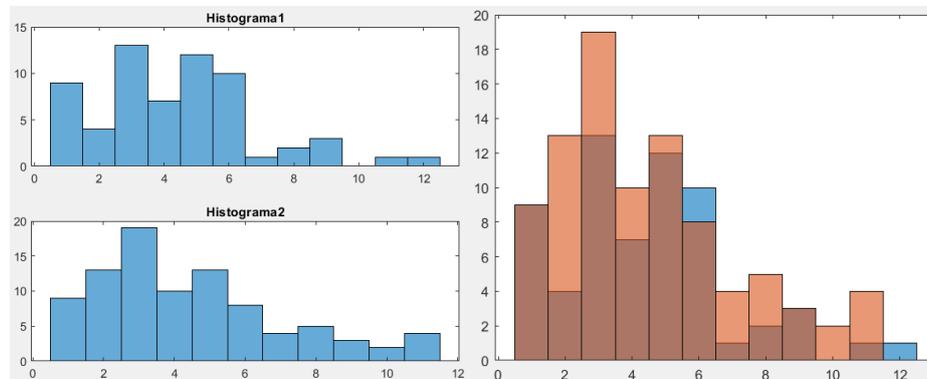


Figura 32. Caso 4: Sala-Comedor Vs. Alcoba1 (escuadría en acabado de placa con el material de estuco sobre placa de concreto).

Fuente: elaboración propia.

En este caso se observa que el rango de la concentración de la masa de datos es mayor entre 1 y 6 mm, además, la distribución de los valores en los dos recintos es similar, donde es posible encontrar valores altos de desviación. El límite superior de este rango es el valor de tolerancia establecido en el Manual de Tolerancias para la Construcción de Edificaciones para esta combinación (6 mm); se observa, además, que es posible encontrar varios datos por encima de este, lo cual podrían conllevar a una posible reclamación posventa.

Entre tanto, para el caso del elemento paneles masillados (terminado) de drywall con variable planeidad, se comparan sala-comedor y baño social.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

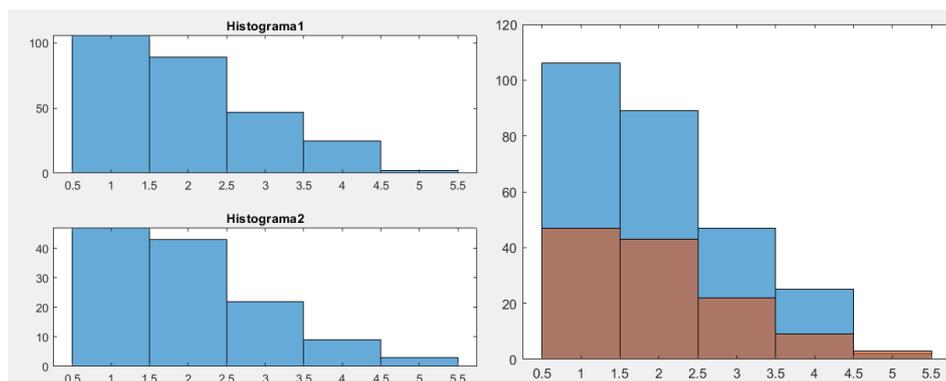


Figura 33. Caso 173: Sala-Comedor Vs. Baño social (planeidad en paneles masillados (terminado) de drywall).

Fuente: elaboración propia.

Los dos histogramas presentados en la figura 33, tienen una distribución equivalente entre ellas, adicional a que el rango donde se encuentran los valores de desviaciones es el mismo (1-5 mm), sin embargo, la concentración de los datos se encuentra entre 1 y 3 mm. Si se compara con la tolerancia presentada en el Manual para esta combinación (2 mm), encontramos que hay una cantidad apreciable de datos por encima de este valor, lo cual demuestra una carencia en el control de calidad.

Así, lo primero que se debe tener en cuenta, y que afecta un análisis profundo de los datos, es que cada recinto no se encuentra justificado por su área (no es lo mismo una sala de 8 m<sup>2</sup> a una de 3 m<sup>2</sup>), por lo cual es muy vago realizar análisis con base en ello. Como conclusión, de este análisis se puede evidenciar que entre recintos el área no pretender ser un factor de afectación para el establecimiento del valor de tolerancia, sin embargo, estos histogramas dan cuenta de otras afirmaciones.

En cuanto a los elementos, evidentemente los datos de los paneles masillados discriminados por recintos se comportan de manera más similar, donde la mayoría presentan una distribución normal. En contraste, las correlaciones realizadas entre recintos para los acabados de placa tienen menos similitud.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Igualmente, en concordancia con el análisis de diagramas en general, las alcobas 1 y 2 tienen comportamientos similares, tanto en acabado de placa como en paneles masillados, sin importar la variable que se considere. Cabe resaltar que en muchos casos no hay mucha diferencia de área entre estas.

Para el caso del elemento de acabado de placa, el 66% de las combinaciones entre recintos no tienen un comportamiento similar, destacando las variables escuadría (43%) y horizontalidad (37%) en las cuales la distribución de los datos entre recintos es diferente.

Por otra parte, se destaca que la variable es un factor de afectación para la definición de los umbrales de tolerancia. Se puede considerar que la escuadría y la horizontalidad son variables acumulativas que tienen un referente de medición en el Manual, es decir, si el valor de horizontalidad medido en un cielo es 1 mm continuado en un 1 m, ya son 100 mm que son altamente evidentes para el adquiriente. Para el caso de la variable planeidad, que no es acumulable, en estuco sobre placa de concreto y texturizados, es posible encontrar que los datos de desviación se comportan de manera más similar entre los recintos.

Con respecto a los paneles masillados, se evidencia que existe mayor relación entre los diferentes recintos, ya que sólo el 22% de las combinaciones no se comportan en forma similar; como se dijo anteriormente, son elementos prefabricados que están sometidos a niveles más exigentes de control, por lo cual en la variable planeidad no se encuentran discrepancias en los histogramas. Por ejemplo, para el caso de la variable escuadría, que ocupa el 51% de las combinaciones sin similitud y la horizontalidad, con el 49%, se observa que estas variables representan problemas de instalación que involucran la mano de obra, mientras que la variable planeidad viene controlada desde un proceso industrial. Por otra parte, todos los histogramas asociados a esta última variable tienen un comportamiento exponencial, donde la acumulación de la masa de datos se encuentra en un rango entre 1 a 3 mm (ver figura 34), lo cual permite observar el comportamiento similar de los datos entre todos los recintos.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

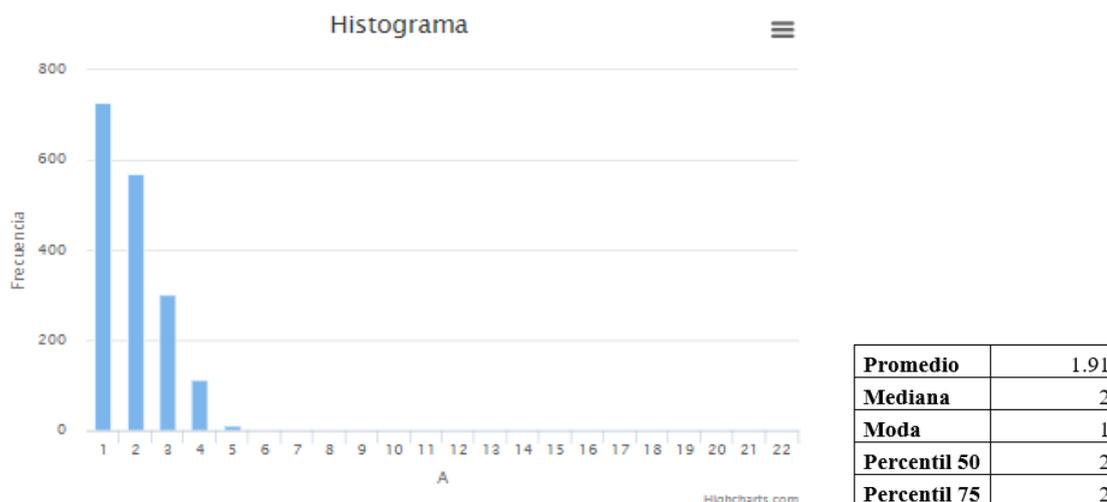


Figura 34. Paneles masillados (terminado) - Yeso (Drywall) – Planeidad.

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, tanto para el acabado de placa como para los paneles masillados, la variable horizontalidad siempre tiene la desviación estándar más grande y la planeidad posee la más pequeña.

#### 7.1.1.4.4 Conversión de histogramas

El 76% de las combinaciones de toda la base de datos de ConstruGarantías tienen una distribución que sigue un comportamiento de sesgo positivo (cola pesada a la derecha), lo que indica que la concentración de la masa de datos se encuentra en valores pequeños. En la revisión bibliográfica se observó que los datos de las guías que establecían valores de tolerancia seguían una distribución normal, un ejemplo claro de ello es la BS5606 (Institution 1990), en cuyo caso la calidad está establecida en altos niveles de predictibilidad estadística. Este documento establece sus valores de tolerancias en la aplicación de una o dos veces la desviación estándar de los datos (ver figura 5).

Para el caso de los datos recopilados en el Observatorio de Tolerancias, se procedió a hallar los valores de la desviación estándar para cada una de las combinaciones, con el fin de aplicar la metodología de los referentes y compararlos con los valores actuales de tolerancias del

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Manual. Seguidamente se hallaron los percentiles 50 y 75 ( $P_{50}$ - $P_{75}$ ), los cuales son la base para definir los valores de tolerancia que se establecen en el Manual.

Teniendo en cuenta que el comportamiento de los datos de la BS5606 (1990) como de la American Concrete Institute [ACI] (2014) siguen una distribución normal, para el tercer valor de análisis se decidió ajustar los datos de las 11 combinaciones (familia-elemento-material-variable), que tienen mínimo la cantidad de datos indicada por la muestra para poder realizar el análisis (150 datos), mediante la *transformación logarítmica*:  $b_{ij} = \log(X_{ij})$ , la cual es útil para transformar distribuciones de sesgo positivo (la parte izquierda del histograma se expandirá mientras que la derecha se comprimirá) como las que se presentan en el proyecto, además de que los valores de los datos son mayores a cero, pues el logaritmo de cero no está definido y los valores negativos son imaginarios.

Esta transformación lo que hace, por un lado, es dar un contraste de ordenes de magnitud a los valores, es decir, ya no se comparan los valores como valores, sino que se compara cómo es la variación en los órdenes de magnitud, lo cual se releja si se habla de fenómenos que se comportan de forma no lineal. Por otra parte, las distribuciones que son sesgadas y no tienen una manera de ver una variación con respecto al promedio, cuando se normalizan, se evidencia como varían los valores de la muestra con respecto al promedio y resultan números que justifican a cuántas desviaciones estándar está el número que se está analizando, lo que permite la aplicación de teorías de comparación entre los valores y sus distribuciones.

Estas transformaciones se realizaron por medio de Matlab.

Como ejemplo, se muestra la aplicación del código anterior a la combinación 2 (Cielos, acabado de placa, estuco sobre placa de concreto, escuadría):

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

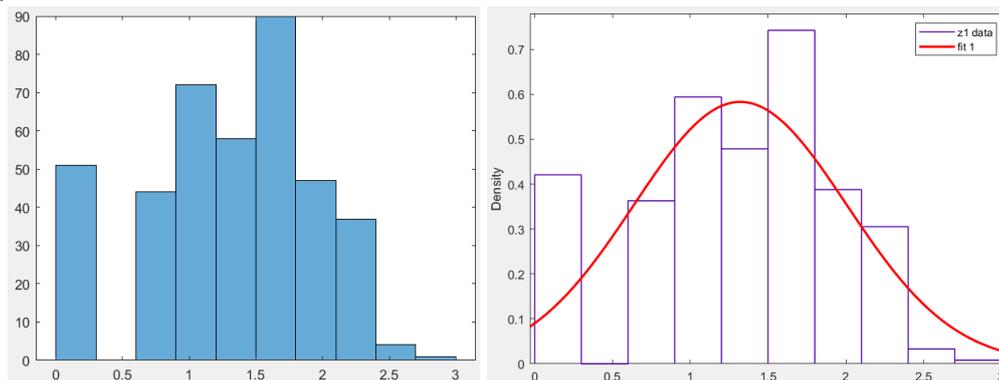


Figura 35. Normalización de la combinación 2 (Cielos, acabado de placa, estuco sobre placa de concreto, escuadría) con outliers.

Fuente: elaboración propia.

Este mismo procedimiento se realizó para cada una de las combinaciones sin *outliers*, con el propósito de ver qué tanto estos valores distorsionaban el análisis y si era realmente necesario eliminarlos. A continuación, se muestra la combinación 2 normalizada y sin presencia de *outliers*:

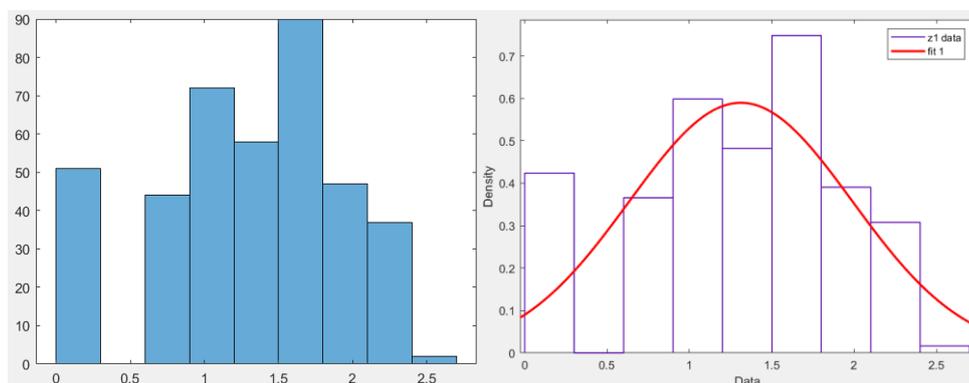


Figura 36. Normalización de la combinación 2 (Cielos, acabado de placa, estuco sobre placa de concreto, escuadría) sin outliers.

Fuente: elaboración propia.

Para el siguiente paso, una vez las combinaciones contaban con una distribución normal, se aplicó la ecuación definida por Donoho y Johnstone (Donoho and Johnstone 1994), la cual, para una variable aleatoria normalmente distribuida, da como resultado el máximo absoluto esperado por el criterio universal, o minimax,  $\lambda$ . Este valor está dado por:

$$\lambda = \sigma \sqrt{2 \log N}, \quad (7)$$

Donde  $N$  es la cantidad de datos y  $\sigma$  es la desviación estándar de ellos.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Los resultados de estos tres análisis se exponen a continuación, seguido de los valores especificados actualmente en el Manual, los cuales fueron el resultado de un panel de expertos:

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Tabla 10. *Análisis de valores estadísticos con outliers*

Fuente: Elaboración propia.

Familia	Elemento	Material	Variable	Moda	std	2*std	std (normalizada)	2*std (normalizada)	std*raiz(2*logN)	Percentil 50	Percentil 75	Manual
Cielos	Acabado de placa	Estuco sobre placa de concreto	Escuadría	3	2.773	5.546	1.982	3.963	6.865	4	6	6
			Horizontalidad	5	4.751	9.501	2.459	4.919	8.074	5	9	7
			Planeidad	2	1.958	3.915	1.822	3.644	6.610	2	3	3
	Acabado de placa	Sin recubrimiento Texturizados (graniacril, graniplast, corev)	Escuadría	3	3.232	6.464	2.154	4.307	7.082	3	5	-
			Escuadría	2	3.261	6.523	2.123	4.246	7.303	4	6	-
			Horizontalidad	2	5.201	10.402	2.466	4.933	8.172	5	8	5
	Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles	Paneles de yeso	Planeidad	4	1.785	3.571	1.515	3.030	5.129	4	5	4
			Escuadría	2	0.876	1.752	1.588	3.176	5.151	2	3	-
			Escuadría	2	1.011	2.021	1.559	3.118	6.202	2	3	3
	Paneles masillados (terminado)	Yeso (Drywall)	Horizontalidad	2	1.455	2.910	1.435	2.871	5.617	2	3	3
Planeidad			1	1.068	2.136	1.637	3.275	7.650	2	2	2	

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Tabla 11. *Análisis de valores estadísticos sin outliers*

Fuente: Elaboración propia.

Familia	Elemento	Material	Variable	std	2*std	std (normalizada)	2*std (normalizada)	std*raiz(2*logN)	Percentil 50	Percentil 75	Manual	
Cielos	Acabado de placa	Estuco sobre placa de concreto	Escuadría	2.651	5.303	1.967	3.934	6.811	4	6	6	
			Horizontalidad	3.991	7.982	2.381	4.762	7.797	4	8	7	
			Planeidad	1.317	2.634	1.721	3.442	6.227	2	3	3	
	Cielo falso con estructura reticular y paneles removibles	Sin recubrimiento	Escuadría	2.344	4.688	2.069	4.137	6.789	3	5	-	
			Texturizados	2.745	5.490	2.064	4.128	7.085	4	6	-	
			(graniacril, graniplast, corev)	Horizontalidad	3.997	7.994	2.351	4.702	7.766	4	8	5
	Paneles masillados (terminado)	Yeso (Drywall)	Planeidad	1.479	2.957	1.477	2.954	4.991	4	5	4	
			Escuadría	0.876	1.752	1.588	3.176	5.151	2	3	-	
			Horizontalidad	0.820	1.640	1.554	3.107	6.182	2	3	3	
				Planeidad	1.117	2.234	1.653	3.305	6.463	2	3	3
				Planeidad	0.952	1.904	1.631	3.263	6.297	2	2	2

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Si las tolerancias se fijan en términos estadísticos, al reconocer que un pequeño número de mediciones queda fuera de un rango aceptable, dichas tolerancias podrían ser más realistas (Nadia and Othuman 2014).

De los datos anteriores se evidencia que la desviación estándar para cada una de las combinaciones es más pequeña cuando se normaliza el histograma, y aún más cuando los datos se encuentran sin outliers, por lo tanto, hay mayor confiabilidad estadística debido a que hay menor dispersión.

Este análisis de desviaciones se realiza con el fin de tener confiabilidad estadística, pues el valor de tolerancia establecido debe estar dentro del rango de las capacidades reales de producción del sector local. Ya que, si no es así, el umbral definido se incumpliría, no por una situación atípica, sino dentro de las prácticas normales y aceptadas como adecuadas, de producción local.

Vale destacar que los resultados de la aplicación de cada una de las metodologías son el insumo para un grupo de expertos, quienes serán encargados de definir umbrales de tolerancia para cada combinación basado en el análisis de las desviaciones y su experiencia, y tendrán una justificación para hacerlo. Finalmente, el valor seleccionado debe ser validado por los actores de la industria de construcción de vivienda, por lo cual debe ser expuesto ante consulta pública.

Este valor de tolerancia no sólo debe estar basado en lo “ofrecido por el sector”, sino que, al ser el cliente la persona encargada de recibir el inmueble bajo su percepción y satisfacción debe incluirse para la definición de estos umbrales, lo cual se afrontara a continuación.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

## **7.2 LAS RECLAMACIONES POSVENTAS COMO APROXIMACIÓN PARA EL ESTUDIO DE LAS CAPACIDADES DE PERCEPCIÓN DEL CLIENTE.**

La percepción del cliente es un tema altamente subjetivo, sin embargo, es parte fundamental a la hora de establecer tolerancias, pues estas no sólo deben basarse en las capacidades reales de producción del sector de la construcción, sino que deben estar dentro del rango de capacidad de detección del cliente/usuario, por lo que, si no se detecta, las consecuencias negativas de la desviación no se hacen efectivas y no se presenta la reclamación posventa.

Sobre la condición estética de los elementos poco se ha estudiado y publicado. Las tolerancias en acabados tienen un comportamiento diferente a las tolerancias estructurales plasmadas, para el caso de Colombia, en la NSR-10, donde el umbral de tolerancia lo establece la seguridad y estabilidad de la estructura. Asimismo, como los aparatos eléctricos e hidrosanitarios que deben cumplir su función, donde la tolerancia se basa en si funciona o no funciona.

Por otra parte, hay ciertas variables que tienen una naturaleza diferente a la estructural y tienen cabida dentro de los acabados, las cuales finalmente no afectan la funcionalidad de la estructura o del elemento, pero sí la apariencia de este. Así, normalmente, la estimación de tolerancia para las variables asociadas a la posición y forma de los elementos parte de un referente estético. La única excepción tiene que ver con la variable resalto (ver figura 37), dado que para un piso puede convertirse en un obstáculo para el usuario, afectando la funcionalidad.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.



*Figura 37.* Variable resalto en piso de porcelanato.

Fuente: Manual de Tolerancias para la Construcción de Edificaciones en Colombia, 2017.

### **7.2.1 Datos de reclamaciones alojadas en el Observatorio Posventa**

Una de las grandes preocupaciones de sector de construcción de vivienda es el gran número de posventas que se generan, además de la ausencia de una efectiva gestión de ellas. La forma como se realizan estos registros en la mayoría de las empresas carece de detalles que permitan realizar posteriormente análisis cuantitativos y cualitativos, lo cual no permite que se promueva una mejora continua en sus procesos de construcción.

Lo anterior dio paso a la construcción de un observatorio, denominado Observatorio de Posventas ([www.observatorio.com.co](http://www.observatorio.com.co)), en el cual se almacenan las reclamaciones de las empresas participantes de ConstruGarantías y se garantiza el reporte estandarizado de los eventos de reclamación, lo cual es beneficioso al momento de realizar análisis y discriminar la información según las necesidades del consultor.

Esta plataforma web funciona también en forma de cascada y dentro de los campos que se pueden diligenciar están: las combinaciones que está compuesta por una familia, sistema, elemento, material y daño, definidas anteriormente, compartiendo una concordancia y conexión el Observatorio de Tolerancias, además, se pueden diligenciar campos como el proyecto (tipología y sistema constructivo), el inmueble, el responsable de la actividad (contratista), costo de la reparación del daño, entre otros. Por su parte, el sistema se refiere a

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. un sistema constructivo con su especificación, por ejemplo, en la familia pisos, el sistema pertenece al piso en porcelanato, piso en cerámica, piso en concreto pulido, entre otros. Por otro lado, los daños se refieren al defecto que genero la posventa.

### 7.2.1.1 Datos de todas las familias

Las reclamaciones posventas alojadas en la base de datos del Observatorio Control Solicitud Posventas de ConstruGarantías se pueden discriminar por defectos, lo cual permite realizar un análisis profundo de las variables. Estas reclamaciones están compuestas por eventos, los cuales son el suceso particular de un defecto en un elemento de determinado material que compone un sistema. El informe fue obtenido con corte a la fecha 26/08/19 y los resultados son los siguientes:

Tabla 12. Porcentaje daños general.

Fuente: elaboración propia.

Evento Nombre Daño	Número de eventos	Porcentaje
Fisurado / Craquelado	2749	13.93 %
Desajustado / Mal Anclado / Suelto	2455	12.44 %
Funcionalidad afectada	1693	8.58 %
Húmedo	986	4.99 %
Suelto	956	4.84 %
Manchado	901	4.56 %
Sin sello	780	3.95 %
Rayado	690	3.50 %
Mal detallado	683	3.46 %
Otros defectos	7848	39.85 %
<b>Total</b>	<b>19741</b>	<b>100 %</b>

Se evidencia que la mayor cantidad de quejas presentadas por los clientes a las constructoras son defectos de fisuración, desajustado y funcionalidad afectada, problemas que son fácilmente percibidos por los sentidos.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

### 7.2.1.2 Defectos asociados a la posición y forma de los elementos.

La cantidad de eventos relacionados con los defectos asociados a las variables de posición y forma, consideradas en el Manual de Tolerancias para Construcción de Edificaciones en Colombia es de 712 que equivalen al 3.61 % del total de los eventos reportados. Estos son: desnivelado, desplomado, sin planeidad, con resalto, sin rectitud, desalineado y sin escuadra. El daño desnivelado está asociado con los defectos de desviación en la horizontalidad y el desplomada con temas de verticalidad:

Tabla 13. *Porcentaje daños de interés*

Evento Nombre Daño	Número de eventos	Porcentaje
Desnivelado	426	59.83 %
Desplomado	156	21.91 %
Sin planeidad	49	6.88 %
Con resalto	34	4.78 %
Sin rectitud	24	3.37 %
Desalineado	19	2.67 %
Sin escuadra	4	0.56 %
<b>Total</b>	<b>712</b>	<b>100 %</b>

Es por esto, que se vuelve indispensable objetivar umbrales de tolerancia que apoyen en la determinación de lo que debe ser aceptado o rechazado incluyendo la percepción del cliente.



Figura 38. Falta de alineación en salidas eléctricas.

Fuente: Fotografía de Luis Fernando Botero. (Medellín. 2018)

Debe tenerse cuidado al momento de analizar estos datos ya que luego de una lectura minuciosa de la información, se evidencia que muchas de las posventas registradas contemplan

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda. elementos, como, por ejemplo, las cerraduras y tuberías donde se pueden presentar algunos de los defectos asociados a la posición y forma, sin embargo, no se contemplan en el Manual ni existen tolerancias de apariencia para estas combinaciones. Además, es posible encontrar registros donde los daños no hacen alusión a la causa raíz que generó el defecto, lo cual puede interferir en los resultados.

Aunque estos registros sugieren un análisis importante, no existen registros numéricos de las desviaciones presentadas en las reclamaciones que permitan relacionar el valor de tolerancia propuesto en el Manual y el valor de la desviación que es percibida por el cliente y genera una posventa.

### **7.2.1.3 Exploración de los datos**

Entendiendo que para este caso no se cuenta con un valor cuantitativo que represente el límite a partir del cual un cliente detecta un defecto, además de que ninguno de los sistemas de gestión de posventas que existe, al menos a nivel nacional, incluyen dicha magnitud, se realizó una aproximación en términos de cuáles son los elementos, materiales, tipo de proyectos, entre otros, más relacionados con esas detecciones. Para ello, al discriminar las 714 reclamaciones que asociaban los daños de posicionamiento y forma de los elementos, se decidió clasificarlos de manera que se pudiera percibir el comportamiento de los datos y así poder realizar los análisis pertinentes:

- *Por daño*

El daño asociado a las variables de interés más reportado en el Observatorio es desnivelado (59.80%), seguido de desplomado (21.99%). Por otra parte, el daño sin escuadra (0.56%), que está asociado a una variable catalogada anteriormente con alto grado de artesanidad (escuadría), es la variable que menos reclamaciones tiene relacionada.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

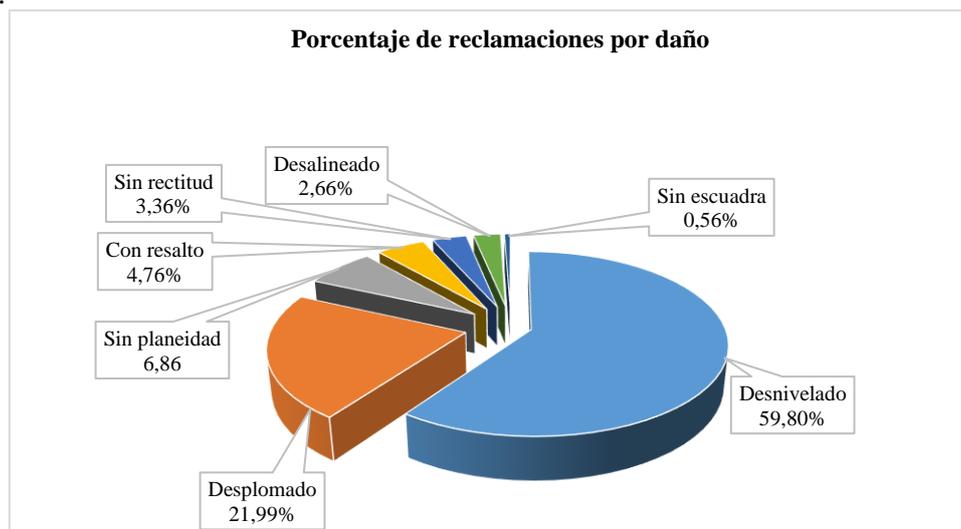


Figura 39. Reclamaciones por daño (Observatorio Posventa).

Fuente: elaboración propia.

- *Por tipología de proyecto*

El gráfico muestra que la mayoría de las reclamaciones (86.97 %) se generan en los proyectos de tipología que no son de vivienda de interés social ni prioritario (No VIS) y que su valor comercial está por encima de 135 salarios mínimos legales mensuales vigentes. Lo anterior se debe a que: a) la cantidad de proyectos reportados en el Observatorio de este tipo es mayor y b) la mayoría de estos son entregados con acabados, lo que genera más elementos que evaluar.

Caso contrario, en las viviendas que son de estratos más bajos, como la vivienda de interés social (VIS), que su valor comercial se encuentra entre 70 y 135 smlmv, y la vivienda de interés prioritario (VIP) que su costo comercial es inferior a 70 smlmv. Usualmente estas construcciones son realizadas con muros vaciados, por tanto, las reclamaciones generadas para estos proyectos (VIS con 8.40 % y VIP 3.08 %), tienen que ver con la instalación deficiente de formaletas que dan paso a pendientes inadecuadas y defectos de superficie, aunque también existe un alto porcentaje de esta tipología de vivienda que son de construcción horizontal, cuyo sistema constructivo es mampostería estructural.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

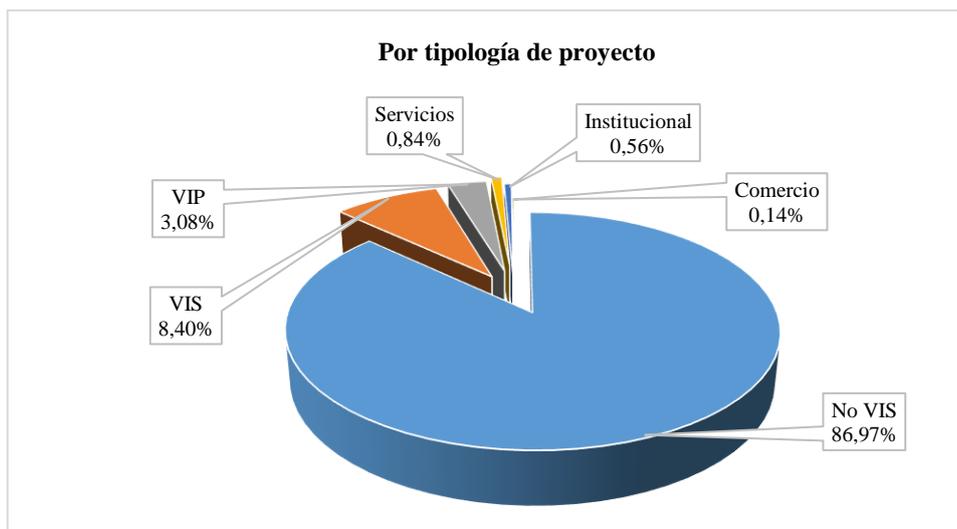
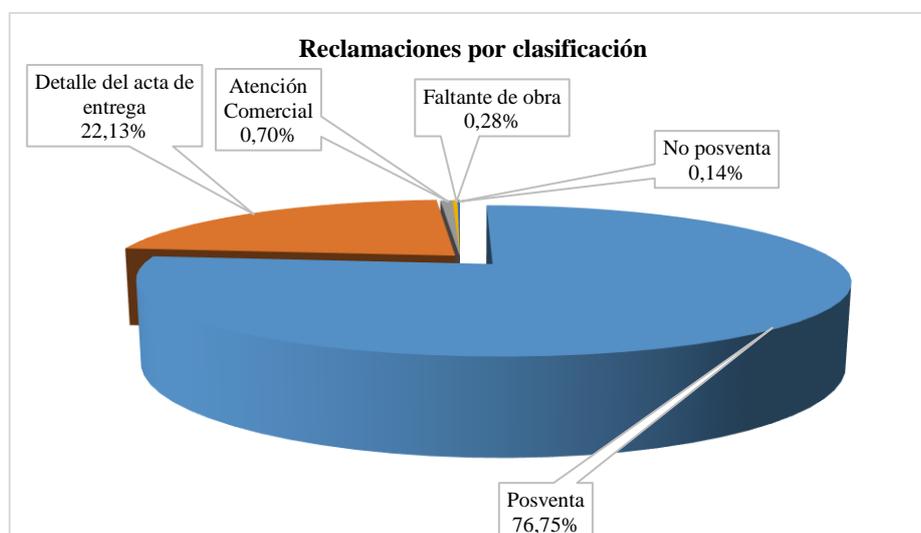


Figura 40. Reclamaciones por tipología (Observatorio Posventa).

Fuente: elaboración propia.

- *Por clasificación de la reclamación*

Un alto porcentaje de eventos son garantías que se presentaron durante el primer año después de la entrega, es decir, una posventa (76.75 %). Por otra parte, el 22.13 % de las reclamaciones se hicieron en el momento de recibir el inmueble, plasmados en el detalle del acta de entrega; en este momento, muchos de los defectos no se aprecian por el estado de exaltación del cliente al alcanzar el logro de adquirir vivienda. Por último, sólo el 0.70% se refiere a las reclamaciones generadas después del primer año de la fecha de entrega, que se conoce como atención comercial.



Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Figura 41. Reclamaciones por clasificación (Observatorio Posventa).

Fuente: elaboración propia.

- *Por sistema constructivo*

De la figura 42 se evidencia que el 50.14 % de las reclamaciones se presentan en proyectos con sistema constructivo aporticado, los cuales están contruidos con columnas y vigas en concreto y con muros en diferentes materiales de construcción, comúnmente arcilla; seguido por los muros fundidos en concreto (monolítico) que equivalen al 24.23 % y los muros fundidos en concreto (losa y muro independientes) con un 15.41%.

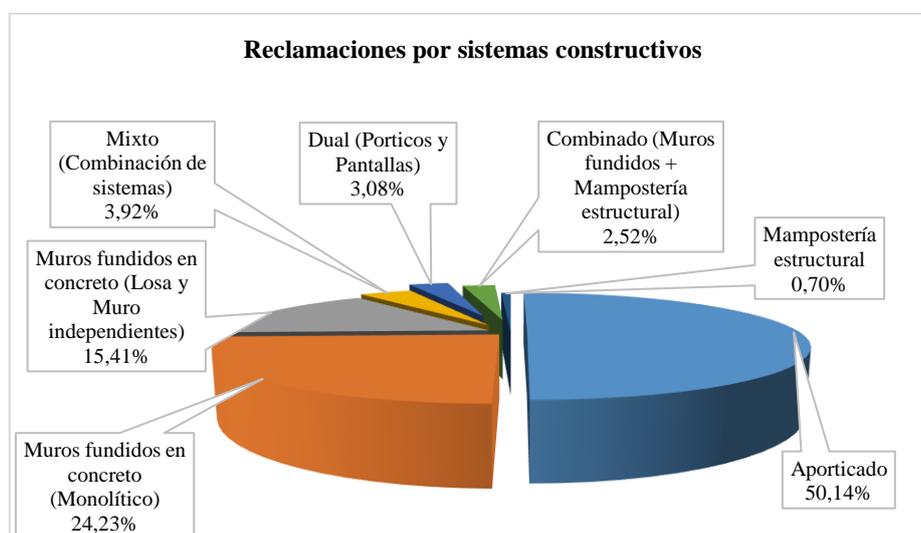


Figura 42. Reclamaciones por sistema constructivo (Observatorio).

Fuente: elaboración propia.

- *Por elemento*

Al igual que el estudio realizado por Forcada et al. (2016), el elemento puerta es el que más reclamaciones presenta (14.01 %) y dentro de las observaciones adicionales de los eventos, se encuentran problemas de instalación del elemento por mal ajuste de esta, que comprometen su nivel y funcionalidad (abrir y cerrar correctamente).

Por otra parte, se encuentra el elemento muro (13.45 %), donde se hay presencia de ondulaciones, protuberancias, prominencias, consecuencias del mal vaciado de los muros debido a malas prácticas constructivas, deformación de formaletas por uso, entre otros.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

En cuanto a lo que se refiere con el sistema piso (piso (conjunto), baldosa, entre otros), se reportó en el Observatorio Posventas que los problemas de reclamaciones se generan por: a) pendientes deficientes que generan empozamientos y mala circulación del agua hasta puntos de evacuación y b) problemas de instalación (mano de obra) que generan desniveles y cambios de piezas. Esto evidencia que las empresas constructoras no realizan las pruebas pertinentes antes de la entrega del inmueble, como es la prueba de estanqueidad.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

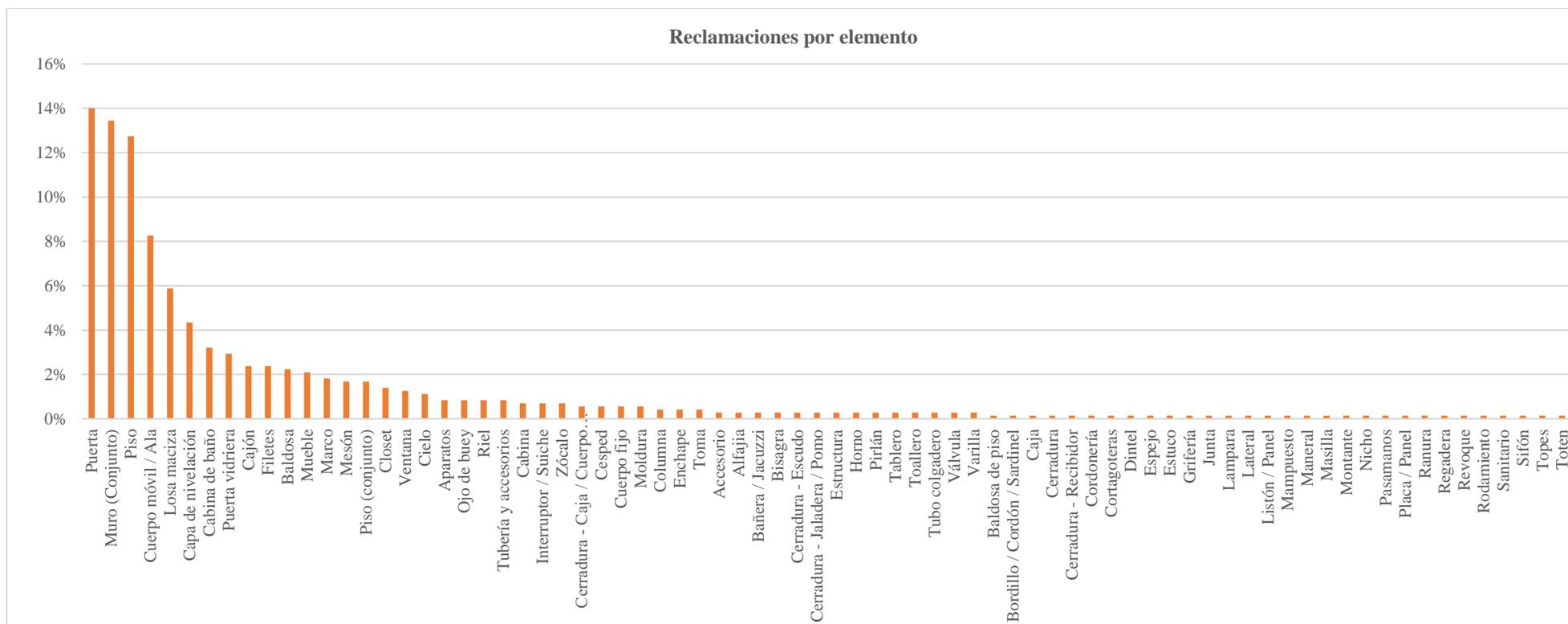


Figura 43. Reclamaciones por elemento (Observatorio).

Fuente: elaboración propia.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

- *Por material*

La industria de la construcción abarca una cantidad considerable de materiales. El material que más defectos presenta es el concreto (16.11 %), seguido del cerámico con (10.08 %) y luego el vidrio templado (7 %). Esto hace referencia a que, en Colombia, la mayoría de las empresas utilizan el concreto tanto para los elementos estructurales como no estructurales.

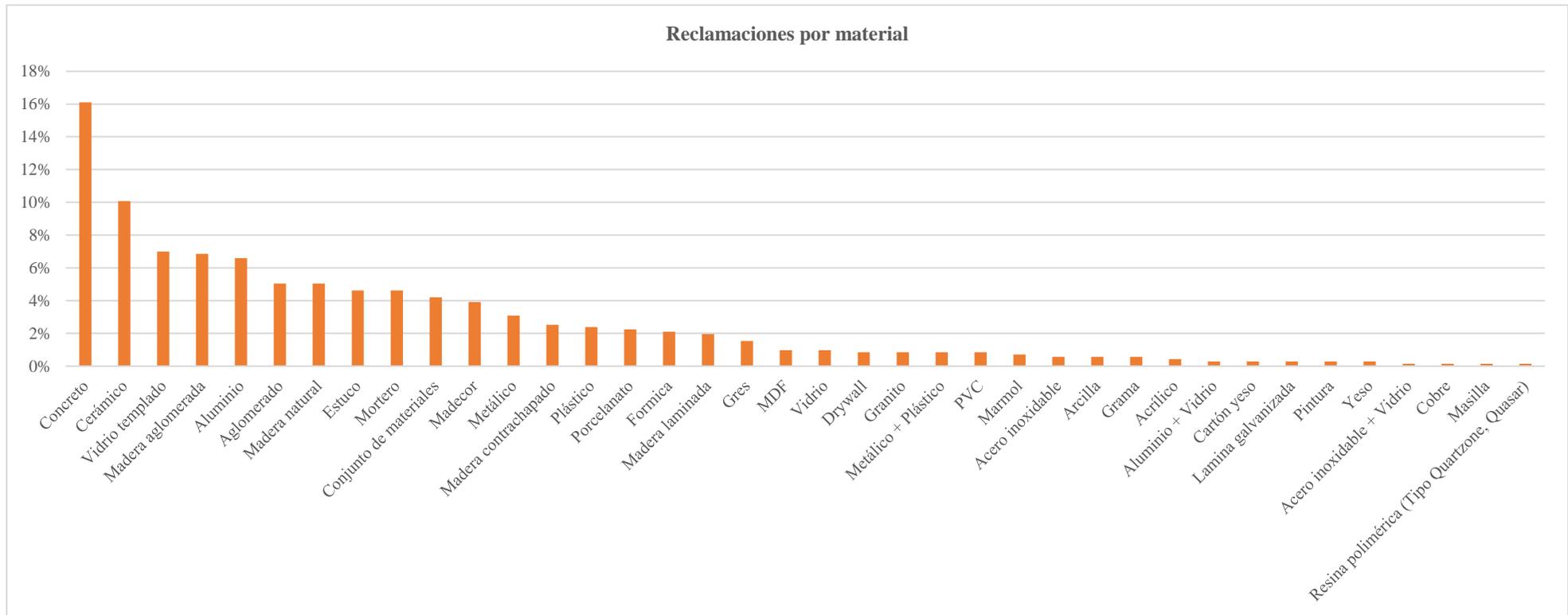


Figura 44. Reclamaciones por material (Observatorio Posventas).

Fuente: elaboración propia.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

### 7.2.1.4 Comparaciones

Para realizar un análisis de estos eventos era necesario hacer comparaciones entre los diferentes daños y las variables, para verificar si los daños que se reportan en el Observatorio en su mayoría equivalen a la naturaleza de ciertas empresas o proyecto. Los resultados son los siguientes:

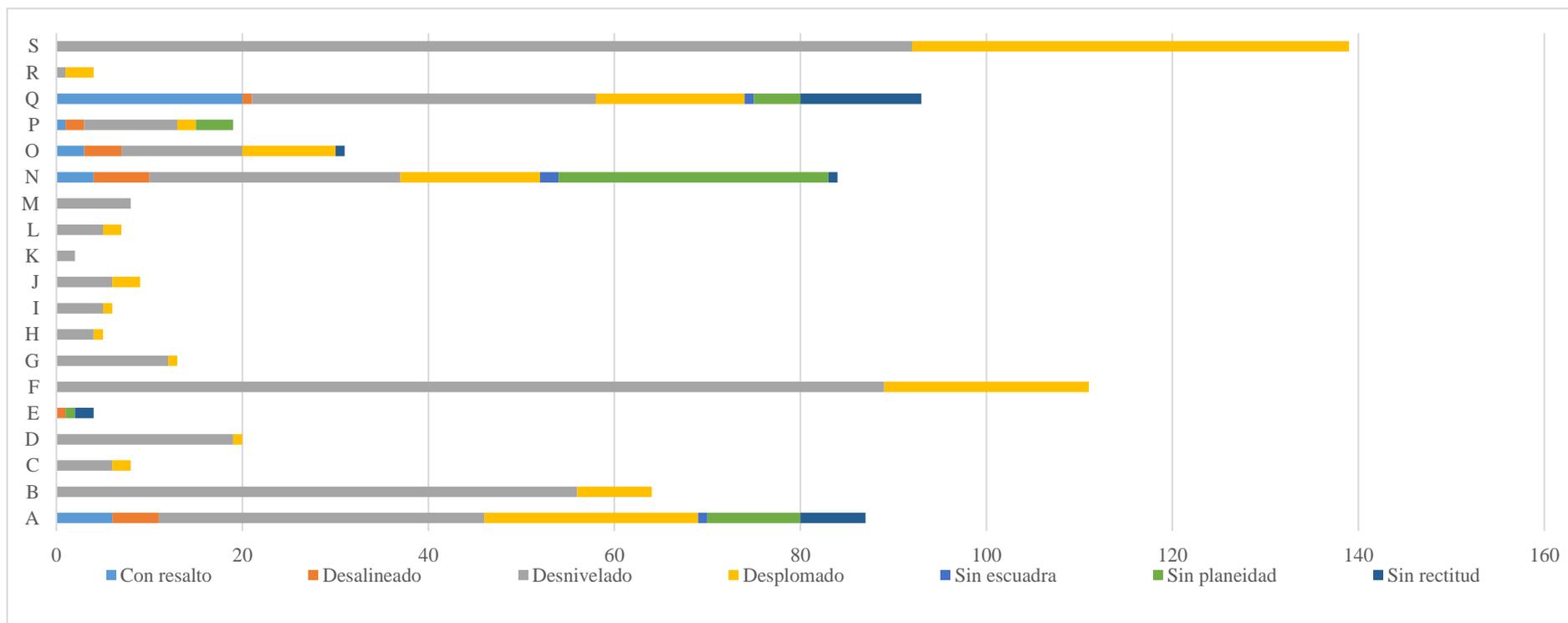


Figura 45. Daño vs. Empresa (Observatorio Posventas).

Fuente: elaboración propia.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

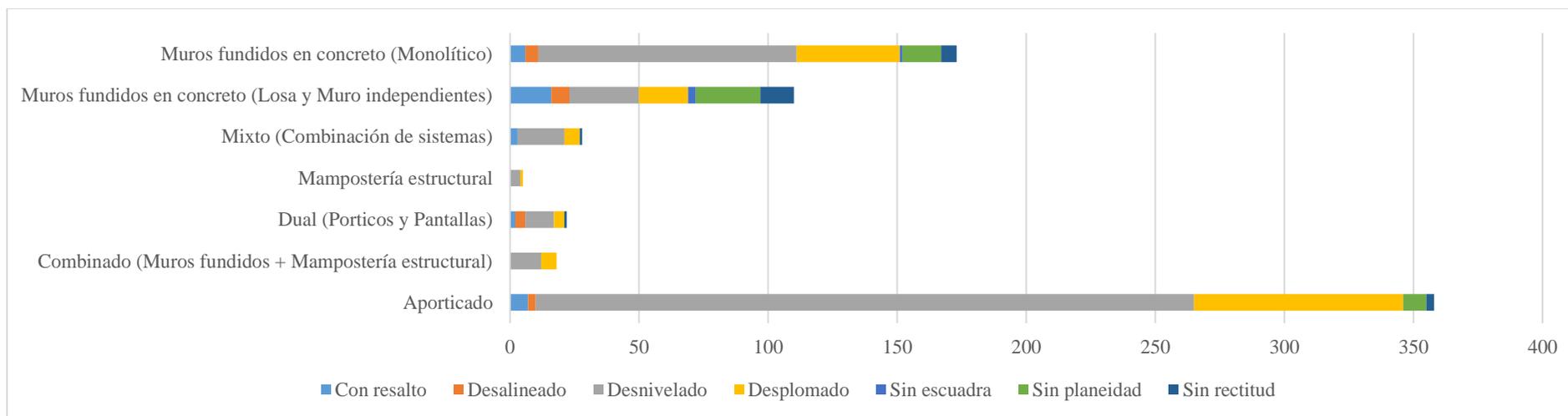


Figura 46. Daño vs. Sistema constructivo (Observatorio Posventas).

Fuente: elaboración propia.

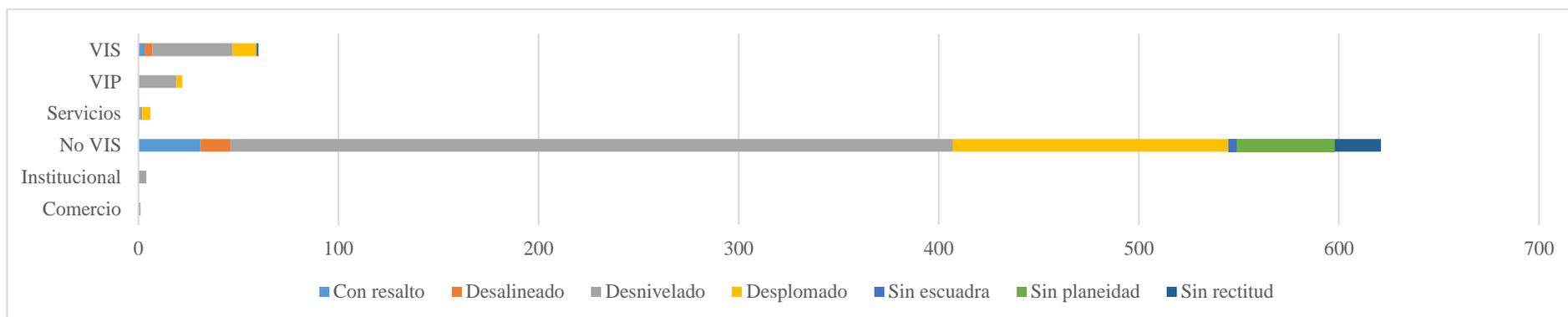


Figura 47. Daño vs. Tipología (Observatorio Posventas).

Fuente: elaboración propia.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

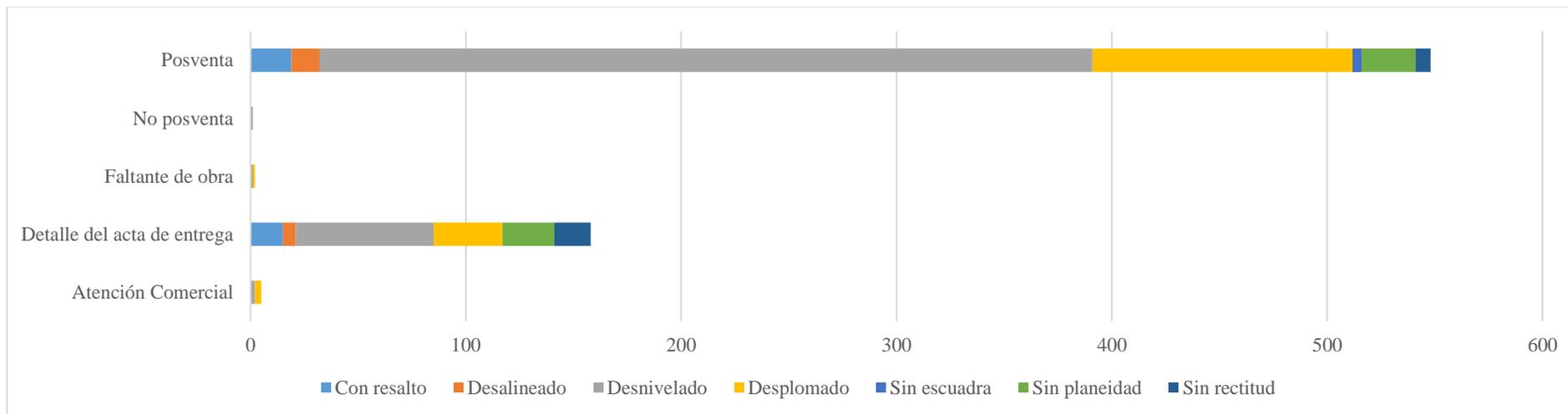


Figura 48. Daño vs. Clasificación (Observatorio Posventas).

Fuente: elaboración propia.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

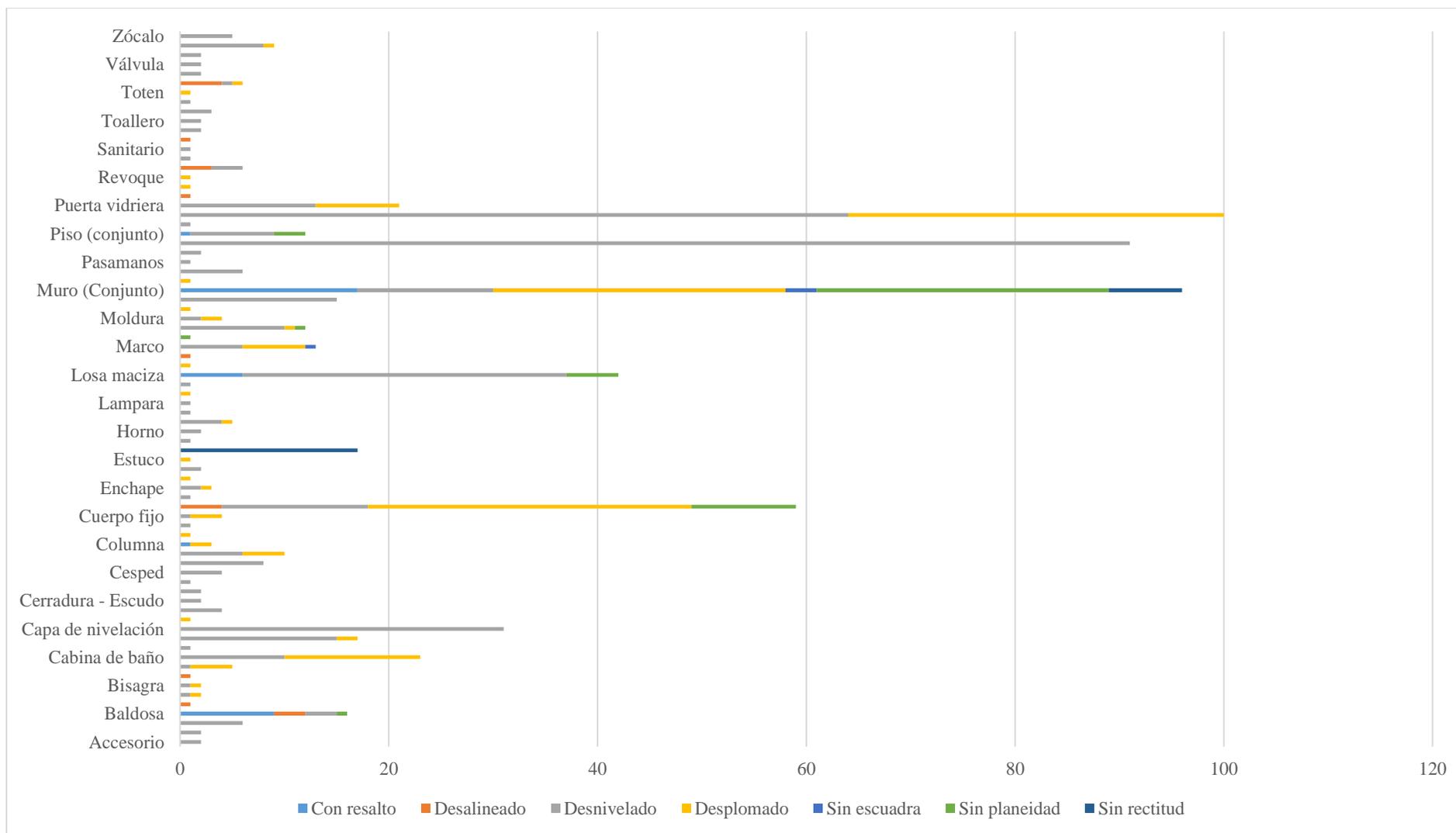


Figura 49. Daño vs. Elemento (Observatorio).

Fuente: elaboración propia.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

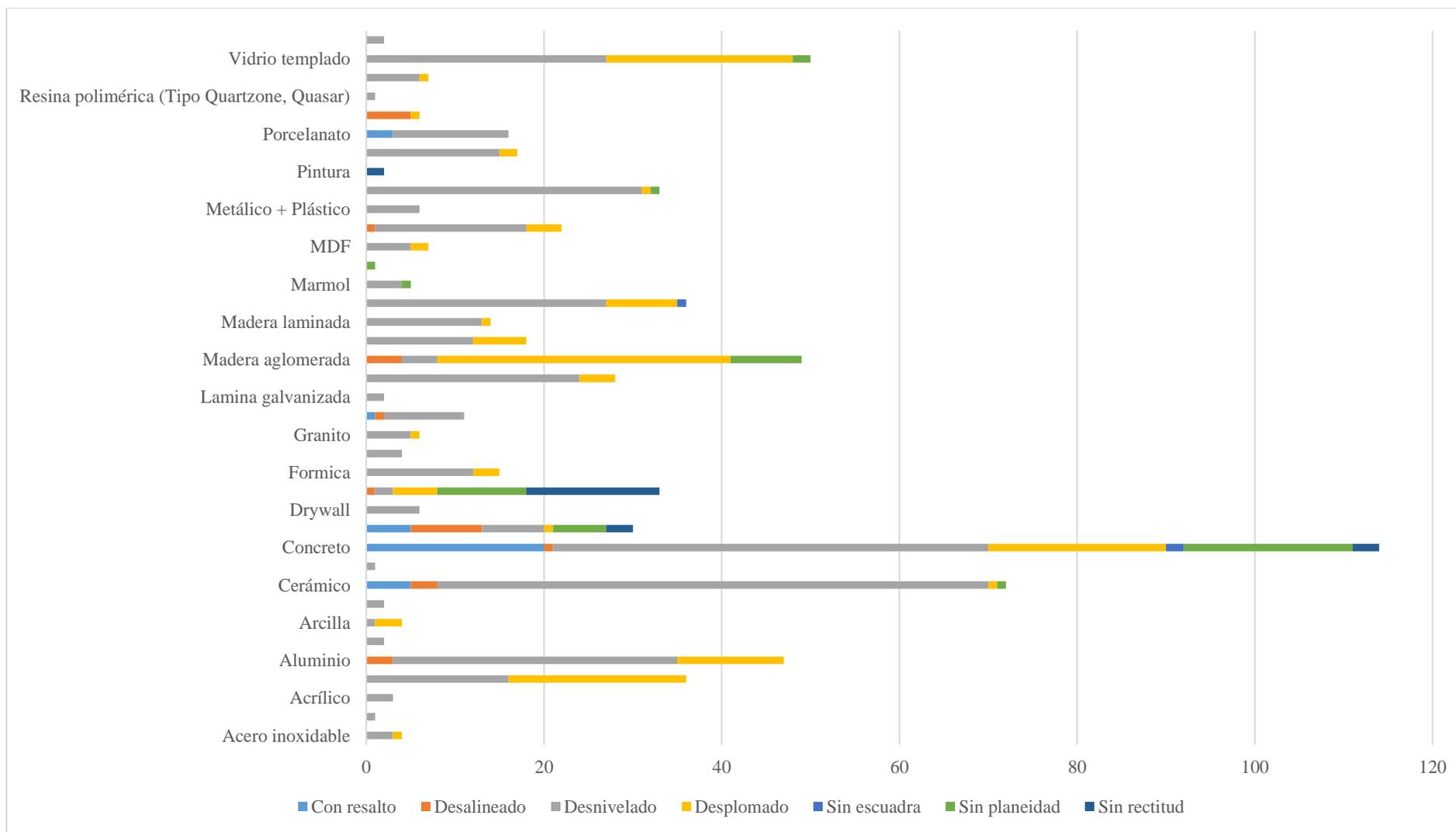


Figura 50. Daño vs. Material (Observatorio).

Fuente: elaboración propia.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

De las 19 empresas (ver figura 45) que han digitado reclamaciones en la plataforma, se encuentra al menos un evento en el cual el daño sea desnivelado, además de que, según la tipología de los proyectos, también el desnivel es el daño más recurrente y se da en todos los tipos de proyectos, asimismo se puede afirmar que independientemente del sistema constructivo, el daño desnivelado es el más recurrente y está incluido al menos una vez en cada uno de los sistemas. Teniendo en cuenta que estos dos daños suman el 81.8 % de las reclamaciones, deben ser un foco de atención en el sector de construcción de vivienda.

Los daños restantes que se asocian a las variables contempladas en el Manual se presentan en menor proporción. El daño desalineado (2.66 %) ha sido digitado por seis empresas; los daños sin planeidad (6.86 %) y con resalto (4.62 %) se han digitado en cinco; sin rectitud (3.36 %) en cuatro y sin escuadra (0.56 %) en tres. Lo anterior concluye que son defectos que son poco comunes en la industria de la construcción de vivienda, o que poco se perciben por los clientes.



Figura 51. Falta de planeidad en cielo (se observan ondulaciones).

Fuente: Fotografía de Ana Isabel Acevedo. (Santa Fé de Antioquia, Antioquia. 2019).

Una de las causas que dan paso a la reclamación posventa tiene que ver con los *referentes*: objetos instalados posteriormente que pueden evidenciar y/o acrecentar visualmente un defecto. Los daños desnivelado, desplomado y falta de planeidad pueden ser evidentes gracias a una referencia, un ejemplo de ello es la instalación a nivel de un mueble de cocina que acrecienta la falta de horizontalidad del cielo o piso, o un marco de puerta que al momento de

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

instalarse no queda a tope con el muro generando luces por la falta de planeidad o verticalidad, como se muestra a continuación:



*Figura 52.* Falta de planeidad y verticalidad

Fuente: Fotografía de Mg. Luis Fernando Botero, director ConstrUGarantías. (Medellín, Antioquia. 2018).



*Figura 53.* Falta de verticalidad y rectitud.

Fuente: Fotografía de Mg. Luis Fernando Botero, director ConstrUGarantías. (Medellín. 2018).

Otros ejemplos de referentes pueden ser aquellos elementos de decoración como mesas y alfombras que no encajan perfectamente en el lugar donde se van a instalar, por ejemplo, la mesa esquinera que no encaja por problemas de escuadría en el muro; la alfombra que deja ver la falta de paralelismo en el piso o la mesa que no apoya sus cuatro puntos de apoyo correctamente, evidenciando falta de horizontalidad o planeidad en el piso; es decir, los

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

referentes no incrementan la capacidad de detección del cliente pero hacen que los defectos sean más visibles, lo que conlleva a que el cliente los detecte con mayor facilidad.

## **7.2.2 Asistencia a entregas de inmuebles**

### ***7.2.2.1 Variables que no se tuvieron en cuenta por los autores de la bibliografía investigada al momento de estudiar la percepción del cliente para el establecimiento de tolerancias.***

Tres de los estudios que se encontraron en la bibliografía investigada acerca de la inclusión de la percepción del cliente para la definición de tolerancias de construcción fueron realizados por (Forsythe 1999), (Forsythe 2006) y (Gomez et al. 2019), de los cuales se habló anteriormente.

No obstante, tratar de ambientar el estudio realizado por Gómez (2010) no era posible. Primero, en Colombia no se realizan reuniones antes ni durante la construcción del proyecto donde se involucren a los potenciales clientes para preguntarles acerca de su aval o disconformidad frente a la apariencia estética de los elementos que serán construidos por medio de prototipos, sino que los elementos se construyen en sitio y serán los que pertenezcan en el proyecto, donde los procesos ya desarrollados pueden cambiar y generar diferencias en lo planteado; por el contrario, en la mayoría de empresas existen departamentos encargados de diseñar y definir ciertos criterios mínimos de calidad con los que deben realizarse y entregarse los elementos constructivos como por ejemplo que estén a nivel, plomo, sin presencia de defectos.

Segundo, replicar los experimentos realizados Forsythe no es apropiado para este trabajo, debido a que no se contaba con un espacio en el cual pudiera recrearse, además no eran tenidos en cuenta varios factores al momento de realizar la investigación, y para este caso es necesario controlar la mayor cantidad de variables posibles; además, estos experimentos no tienen en

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

cuenta varios factores fisiológicos y psicológicos que pueden generar sesgo al momento de una entrega de un bien inmueble. Algunas de estas variables son:

- A. Factores como la iluminación que influyen en la aparición o exaltación de defectos.
- B. Presencia de terceros en la entrega del inmueble.
- C. Estrato y tipología del proyecto.
- D. Conocimiento del adquiriente frente al sector de la construcción.
- E. Actitud prevenida del cliente, que puede hacerlo más observante al momento de la entrega.
- F. Sentimientos de euforia de por medio.
- G. Forma de entrega del proyecto, ¿es posible que los defectos pasen a segundo plano?
- H. ¿La percepción frente a la calidad de los elementos al momento de la entrega sigue siendo igual a través del tiempo?

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

#### **7.2.2.2 *Observación no participante***

Entendiendo que las reclamaciones asociadas a los defectos de posicionamiento y forma de los elementos son el 3% con respecto al total, se optó por asistir a entregas de bienes inmuebles, con el fin de observar posibles causas que conlleven a este bajo valor.

La finalidad de este método de estudio es poder recolectar información importante a través de la observación del proceso sin participar en él, lo cual lo vuelve más objetivo. Para ello, se presenciaron varias entregas, en las cuales sólo se limitó a observar en qué se fijaban los usuarios cuando reciben un inmueble y qué defectos se podían percibir. El resultado es el siguiente:

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Tabla 14. *Descripciones de los acompañamientos realizados a entregas de algunos inmuebles de diferentes constructoras.*

Fuente: elaboración propia

ID	Empresa	Proyecto	Número de personas que reciben	Tipología	Estrato	Ubicación	ENTREGAS		¿Quién entrega?	Detalle de acta de entrega	Comportamiento del cliente que recibe
							Duración de la entrega	Área bruta (m2)			
1	A	AA	1	No VIS	4	Sabaneta	40 min	83,2	Residente acompañado de auxiliar, sala de ventas, eléctrico, maestro, oficial	NO	El apartamento es para arrendar. Con acabados. Interesado en la funcionalidad de las ventanas, puertas vidrieras, salidas eléctricas e hidrosanitarias. Cautivado con la vista.
2	A	AA	3	No VIS	4	Sabaneta	1 h	76,1	Residente acompañado de auxiliar, sala de ventas, eléctrico, maestro, oficial	NO	El apartamento es para arrendar. Con acabados. Checklist de reformas solicitadas. Interesado en la funcionalidad de las ventanas, puertas vidrieras, salidas eléctricas e hidrosanitarias, carpintería. Resalto por pirlán (elemento que separa áreas).
3	B	BB	2	VIS	3	Itagiüí	30 min	55.1	Arquitecto, electricista, entrega proyectos	NO	El apartamento es para vivir. Sin acabados. Acompañado de un asesor. Interesado en la funcionalidad de las ventanas, puertas vidrieras, salidas eléctricas e hidrosanitarias. Limpieza de muro de arcilla del baño (regado con mortero). Recomienda suiche tipo escalera habitación principal. No percibieron falta de rectitud y desplome en los muros.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

4	B	BB	1	VIS	3	Itagiúf	25 min	55.1	Arquitecto, electricista, residente entregas	NO	El apartamento es para vivir. Sin acabados. Interesado en la funcionalidad de las ventanas, puertas vidrieras, salidas eléctricas e hidrosanitarias. No percibe falta de rectitud y desplome en los muros.
5	C	CC	3	No VIS	5	Ciudad del Río	2 h	105	Posventas, interventoría, residente, comercial, eléctrico, plomero	NO	El apartamento es para arrendar. Con acabados. Checklist de reformas solicitadas y elementos sueltos. Interesado en la funcionalidad de las ventanas, puertas vidrieras, salidas eléctricas e hidrosanitarias, carpintería y electrodomésticos. Limpieza rejilla de balcón que tenía concreto y mancha de empate en el mesón de la cocina (tuvo que verse desde un punto de vista esforzado). Constructora entrega puntos fijos. Falta de organización para entregar y reparaciones inmediatas para no generar detalles de acta de entrega.
6	D	DD	4	No VIS	4	Rodeo Alto	30 min	56	Comercial y Maestro	NO	El apartamento es para arrendar. Sin acabados. Diligenciamiento de papeles en sala de ventas: carta de bienvenida, qué tiene garantía, seguridad y condiciones, formato posventas, escrituras, encuestas. Cautivado con la vista. Interesado en la funcionalidad de las ventanas, puertas vidrieras, salidas eléctricas e hidrosanitarias. Falta de limpieza rieles de las ventanas. Reclamación verbal: escalas de emergencia están pegadas a la estructura (no cumple con condición de elementos independientes, ver figura 54). No se realizó limpieza (posible reclamación posventa). No se registra reclamación escalera de emergencia.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

7	E	EE	2	No VIS	5	Envigado	4 h	107	Residente de acabados, posventas	SI	El apartamento es para arrendar. Con acabados. Interesado en la funcionalidad de las ventanas, puertas vidrieras, salidas eléctricas e hidrosanitarias, carpintería y electrodomésticos. Ubicación ojos de buey, no se encuentran centrados, la ubicación actual corresponde a especificación de plano (ver figura 55). Cajones desalineados por falta de ajuste de bisagras. Funcionalidad afectada de sistema de cierre de los cajones. Descarrilado cajón de closet de la alcoba 2 (ver figura 56). Funcionalidad afectada de ventana por doblez en la parte superior. Doblez empaque de puerta vidriera. Mala fijación de las incrustaciones. Diferencia tonalidades de ranuras en puertas. Mal empotramiento del horno. Rayado de entrepaños de cocina. Dimensiones de muebles de cocina pequeños, corresponde a especificación de planos. Varias de las reparaciones se hicieron en el momento. Como detalle de acta de entrega quedaron los siguientes: a) faltan alas definitivas de closet alcoba 2 y 3, b) verificar distancia interior colgaderos cuando le instalen alas definitivas, c) corregir apertura de puerta zona de ropas, dado que no hay espacio suficiente para ingreso de lavadora y secadora, d) empaque doblado del perfil la puerta vidriera, e) gotera parqueadero, f) hueco canaleta y g) tiradera portón exterior faltante.
---	---	----	---	--------	---	----------	-----	-----	----------------------------------	----	--

---

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.



*Figura 54. Elemento de estructura incrustado en muro del inmueble.*

Fuente: Fotografía de Ana Isabel Acevedo. (Medellín, Antioquia. 2020).



*Figura 55. Iluminación descentralizada.*

Fuente: Fotografía de Ana Isabel Acevedo. (Medellín, Antioquia. 2020).



*Figura 56. Cajón descarrilado.*

Fuente: Fotografía de Ana Isabel Acevedo. (Medellín, Antioquia. 2020).

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Se evidencia que las constructoras programan las entregas con lapsos de tiempo cortos, por lo que son rápidas y superficiales para que no interfieran con las otras, además, los clientes son recibidos en la sala de ventas donde se consume gran cantidad del tiempo de la entrega.

En algunos casos, las entregas se realizan con presencia de muchos funcionarios, entre ellos residentes, equipo posventas, área comercial, maestro, oficial, eléctrico, entre otros, que pueden abrumar a los clientes. Estos presencian la entrega con el fin de realizar las reparaciones inmediatas de los defectos percibidos por el cliente y así no queden registrados en el acta de entrega, esto además porque puede intervenir en los informes de gerencia y en el desembolso de los préstamos de los bancos, por lo cual, para el caso de las viviendas que son apoyadas con subsidios son dejados como posventas.

A partir de las entregas asistidas, se puede concluir que los clientes están más preocupados porque no haya faltantes, las reformas estén realizadas y la funcionalidad de los elementos como las salidas eléctricas e hidrosanitarias, carpintería en madera y metálica, y electrodomésticos sea correcta.

En ninguno de los casos se percibieron defectos que involucren las variables que están reportadas en el Manual de Tolerancias como: escuadría, rectitud, horizontalidad, entre otras. Esto evidencia que hay dos categorías con aspectos que *no son tolerables* como: a) la funcionalidad de los elementos y b) los faltantes de estos; lo cual es lo más relevante en la mayoría de los casos al momento de la entrega; y los aspectos que *son tolerables*, que tienen que ver con el sistema de producción y están asociados a ciertos niveles de aceptación que son los que se desarrollan en el Manual.

Se indagó con los funcionarios encargados de entregar los inmuebles cómo percibían a los clientes. La directora comercial de una de las empresas afirma que la entrega de un inmueble es un momento muy emocional, y por lo tanto no es muy común registrar detalles de acta de entrega, sin embargo, a medida que transcurre el tiempo, cuando el cliente se vuelve más racional

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

y se tienen referentes, se detectan los defectos. Es por esto, que el número de posventas es mayor que el de las reclamaciones en las actas de entrega.

Del mismo modo, concordó una persona encargada del departamento de posventas de otra empresa, que recibir un inmueble es un momento lleno de sentimientos, dado que es el proyecto de vida de una persona, su inversión o capital, por lo cual, lo importante es el aseo y que no haya omisiones en este, no obstante, se encuentran clientes poco comunes, que son prevenidos o que llegan acompañados con conocedores del tema, o que ha tenido una mala experiencia en la compra de un inmueble, con la empresa o ha escuchado rumores del proyecto.

Lamentablemente, en el trabajo de campo no se pudo establecer el vínculo cuantitativo de la percepción del cliente con las capacidades de producción del sector, por las siguientes razones:

- A. Desconocimiento por parte de los clientes de la existencia del Manual de Tolerancias para la Construcción de Edificaciones, por lo cual no se establecen los parámetros de calidad mínimos con los que se entregara el inmueble, ya que no es de obligatorio cumplimiento.
- B. La mayoría de los adquirientes, en caso de conocer el Manual, no tienen conocimiento de la terminología y significado de los defectos según lo estipula el Observatorio de Tolerancias.
- C. No existe registro numérico de los valores de desviación que generaron las reclamaciones antes y después de realizar las reparaciones.
- D. En todas las entregas se observa que el cliente no tiene un derrotero a seguir para la revisión del inmueble, para el caso de Chile, Protocolo de inspección de vivienda.
- E. El Manual de Tolerancias debe ser también un documento que sirva para recibir el trabajo realizado por los contratistas, además de la estandarización de procesos constructivos que permitan cumplir con los valores.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

- F. Las empresas no tienen disponibles equipos de medición de desviaciones para las entregas que ayuden a comparar lo observado por el cliente y lo estipulado en el Manual.
- G. El cliente confía en que la calidad que le será entregada será la misma del recuerdo vago del apartamento modelo, siendo este construido con mayores estándares de calidad.
- H. Las reclamaciones que contienen defectos asociados a la posición y forma de los elementos son pocos (3.61%) comparado con el total de defectos que se presentan en la industria.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

## **8 RECOMENDACIONES PARA EL ESTABLECIMIENTO CONFIABLE DE**

### **UMBRALES DE TOLERANCIA**

El propósito de esta investigación fue analizar las desviaciones presentadas y detectadas por los clientes en los elementos construidos que componen un sistema, en función de las capacidades reales de producción del sector local y las capacidades de percepción del cliente, debido a que, si se vinculan estos dos criterios, se podrá evidenciar si la capacidad de la industria para proporcionar calidad es adecuada para cumplir las exigencias del adquirente, o si por el contrario, es necesario introducir requerimientos al sistema de producción que conlleven a esfuerzos económicos, tecnológicos y de capacitación de mano de obra.

No obstante, de los resultados de la investigación, se puede concluir gracias al análisis de posventas y el acompañamiento a entregas, que las variables asociadas a la posición y forma de los elementos son poco percibidas y reclamadas por el cliente, por lo tanto, para poder incluirlo en el establecimiento de las tolerancias es necesario que el valor de la desviación que fue detectada por el cliente sea ingresado en el Observatorio Control Solicitud Posventa.

Debido a la ausencia y dificultad para obtener estos valores numéricos de las desviaciones que logra percibir el cliente, esta investigación se desarrolló con base al análisis de desviaciones obtenidos de la producción de mano de obra del sector y del análisis de expertos. Cabe anotar que estos valores dependen de los avances tecnológicos de la industria, la experticia de la mano de obra, la calidad de los insumos, entre otras dinámicas del sector; y deben mantenerse en supervisión constante por medio de la consulta pública y la opinión de expertos.

Relacionando la bibliografía investigada, el trabajo realizado por ConstruGarantías y los análisis de los resultados presentados, se recomienda tener una estimación estadística que permita realizar un análisis confiable, además tener en cuenta al momento de establecer umbrales de tolerancias:

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

A. *Analizar los resultados de las metodologías utilizadas para la realización del documento.*

La tolerancia de cada combinación debe estar definida por el análisis expuesto en este documento. Se deben incluir las desviaciones estándar de la distribución original y normalizada de los datos para cada combinación, adicionalmente, deben obtenerse los valores de los percentiles 50 y 75 y el minimax.

Adicionalmente, cada vez que una empresa registre una reclamación asociada a alguno de los defectos de posicionamiento y forma de los elementos, se debe digitar el valor de la desviación que dio paso a la posventa. Este aporte ayudaría a cuantificar el error detectado por el cliente.

B. *Medición y registro del valor de desviación que percibió el cliente.*

Si la reclamación posventa está relacionada con un defecto asociado a la posición y forma de los elementos, debe medirse la desviación que dio paso a esta, detallando las especificaciones del elemento en la cual se presentó para poder realizar comparaciones y tener un control.

C. *Panel de expertos.*

Estos valores deben ser el insumo para especialistas, fabricantes, clientes, contratistas, entre otros; y debatidos en una mesa de trabajo, quienes bajo su criterio definirán un valor de tolerancia basado en las experiencias de cada uno de ellos y que sea adecuado.

D. *Consulta pública.*

Los valores definidos y posteriormente especificados en el Manual de Tolerancias para la Construcción de Edificaciones en Colombia deben ser expuestos a escrutinio público con el fin de dar a conocer los valores de tolerancia seleccionados y recibir retroalimentación por parte de las empresas y su mano de obra, para así poder generar un documento en el cual los valores de tolerancia guarden consistencia con el sector.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

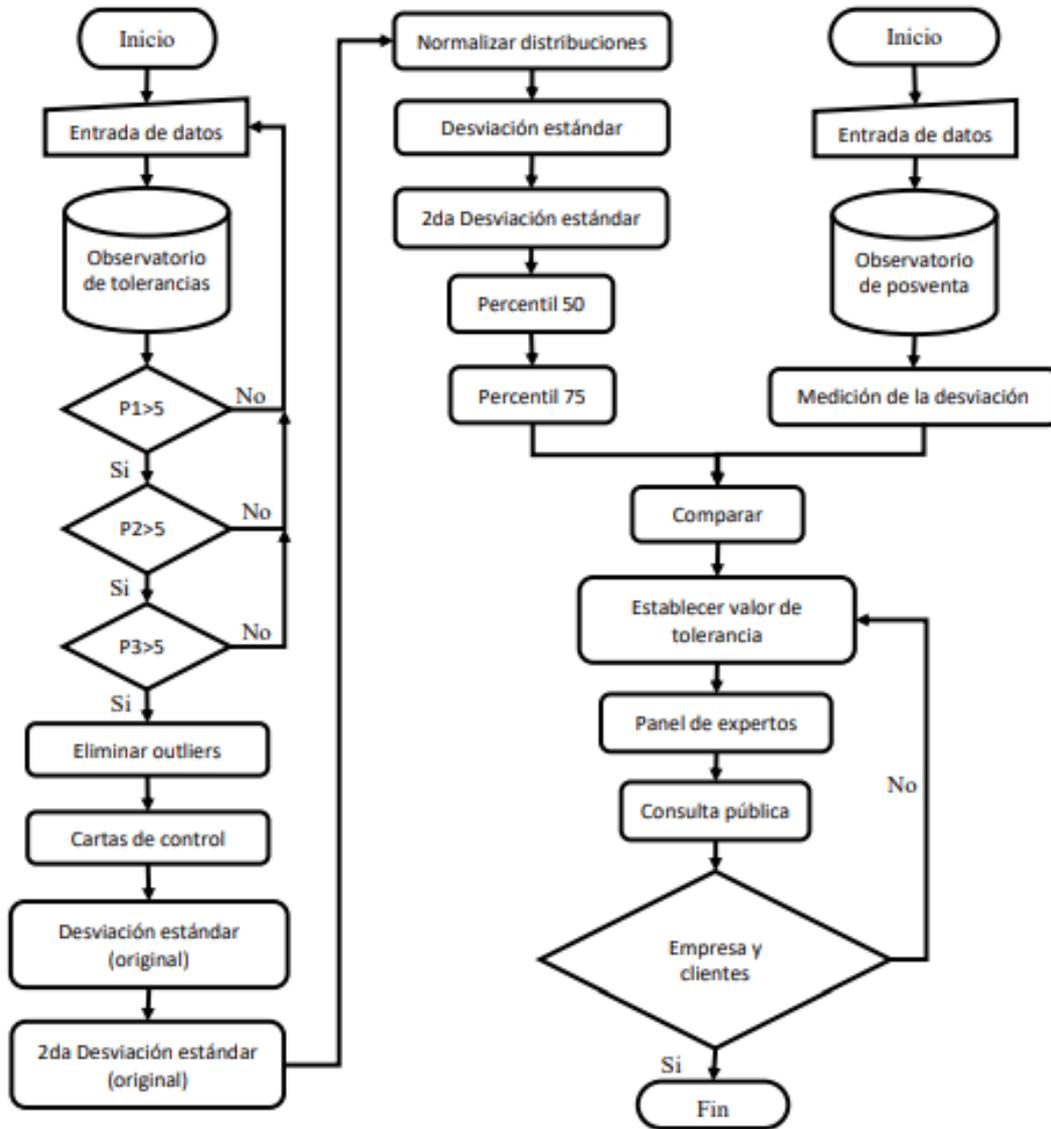


Figura 57. Flujograma recomendación para establecimiento de tolerancias.

Fuente: elaboración propia.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

### **8.1 Recomendaciones para las plataformas de ConstruGarantías**

Evidentemente el trabajo realizado por ConstruGarantías es una estrategia que permite a la industria de construcción de vivienda colombiana acrecentar los estándares de calidad. Al ser el Observatorio de Tolerancias de Construcción y el Observatorio Control Solicitud Posventas la materia prima para el análisis de los valores de desviación y de reclamaciones respectivamente, se recomiendan realizar las siguientes mejoras:

- Para el Observatorio Control Solicitud Posventa:
  - A. Cada vez que el daño registrado en una reclamación esté asociado a las variables del Manual, exigir la medición de la desviación del elemento con el propósito de involucrar la percepción del cliente en términos cuantitativos.
- Para el Observatorio de Tolerancias de Construcción:
  - A. Posibilidad de especificar el área del recinto en el cual es medida la desviación, con miras a realizar más adelante un análisis de correlación entre recintos.
  - B. Cuando el valor de desviación digitado sea mayor a tres veces la desviación estándar de los datos, se alerte al digitador si está seguro de que ese es el valor que quiere introducir.
  - C. Posibilidad de especificar el nivel del piso donde se encuentra el inmueble en el cual se mide el elemento de interés, con el propósito de analizar el comportamiento de la curva de aprendizaje y de los datos.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

## 9 CONCLUSIÓN

Aunque el tema de las tolerancias ha sido mayormente estudiado en la industria manufacturera, existe una cantidad razonable de artículos acerca de estas en el sector de la construcción, en las cuales no se plantea una metodología estándar para la definición confiable de estos umbrales de tolerancia y pocos tratan sobre los umbrales de tolerancia asociados a la posición y forma de los elementos que componen un bien inmueble. De estos pocos, sólo dos involucran la percepción del cliente.

Del análisis estadístico de los datos albergadas en el Observatorio de Tolerancias se puede evidenciar que la mayoría de los datos de desviaciones tienen una distribución de sesgo positivo o asimétrica hacia la derecha, lo que indica que los valores de desviaciones que son medidos en campo y que representan las capacidades de producción del sector local son bajos, además de que las reclamaciones posventas que se presentan principalmente en el sector tienen que ver con aspectos que no son tolerables.

Cabe mencionar que el comportamiento de los datos depende de la familia y la variable que se mide, por ejemplo, en términos de artesanidad: los elementos que tienen un menor índice de artesanidad, como los prefabricados, se encuentran sometidos a controles más estrictos de producción y cuentan con procesos más industrializados para su fabricación, aún así, la desviación que se presenta en estos elementos está asociada a la instalación del elemento, aunque, en la mayoría de los casos, se cuenta con mano de obra especializada para la realización de esta labor y generalmente es el mismo proveedor quien la realiza, por lo tanto, los valores reportados para estos casos son generalmente más bajos que en aquellos procesos que son realizados en sitio y requieren mayor artesanidad para su elaboración. De allí se deriva que prácticas asociadas a la prefabricación y construcción fuera del sitio en condiciones de práctica industrial mejoraría considerablemente la calidad final del producto y sus componentes, evitando reprocesos y atenciones de posventa.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Asimismo, se puede concluir que el área no pretende ser un factor de afectación para el establecimiento del valor de tolerancias, sin embargo, sería importante incluir más información de la que actualmente se pide en la plataforma, en la cual se especifiquen las áreas del espacio donde será medido el elemento y el nivel del inmueble para poder realizar un análisis comparativo que permita encontrar otros hallazgos. En la base de datos del Observatorio de Tolerancias es posible encontrar valores de desviación que sobrepasan los valores de tolerancia estipulados en el Manual, no obstante, es imposible saber si estos valores dieron paso a una reclamación posventa, o si, por el contrario, ni siquiera el cliente pudo detectarlo.

Por otra parte, entendiendo que las capacidades de percepción del cliente también deben ser incluidas para el establecimiento de tolerancias, se puede concluir que las principales reclamaciones posventas reportadas por los adquirientes en el Observatorio de Posventas tienen que ver con problemas de funcionalidad o fisuración, problemas que son altamente identificables por los sentidos del ser humano y que no son tolerables, mientras que las variables que tienen que ver con la posición y forma de los elementos no se perciben comúnmente y sólo ocupan el 3% del total de los registros posventas. Dentro de estas últimas, son más fáciles de percibir las variables como la verticalidad (desplome) y horizontalidad (desnivel), las cuales se pueden exaltar debido a la existencia de los referentes. Lo mismo ocurre al momento de las entregas, donde la mayoría de los clientes se preocupan más por la funcionalidad de los elementos como por ejemplo las salidas eléctricas y redes, que, por la apariencia de estos.

Finalmente, las tolerancias son útiles al momento de añadir valor, garantizar la calidad, reducir reprocesos, hacer a las empresas competentes en el mercado y principalmente mediar las discrepancias entre constructor y adquiriente. Es importante entender las tolerancias como un fenómeno, donde no sólo se tienen en cuenta las capacidades reales de producción del

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

sector local para su cálculo, sino también las capacidades de percepción del cliente, sin

embargo, para esta investigación, este último factor no se pudo incluir en el análisis debido a

la limitante de que no se cuenta con un valor cuantitativo de la desviación que el cliente

detecta, lo que afecto la relación de estos dos factores. Por lo tanto, es fundamental incluir la

magnitud de las desviaciones que dieron paso a un reclamo posventa y así poder analizar

estos datos que fueron identificados por el cliente. Estos valores también deben ser expuestos

ante el panel de expertos.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

## **10 FUTURAS INVESTIGACIONES**

Para las futuras investigaciones se recomienda:

- Aplicar el análisis propuesto a las otras familias con miras al estudio del comportamiento de cada una.
- Estudio de discrepancia de las familias en temas de artesanidad. Es notorio que las familias tienen un grado de dificultad diferente para la mano de obra.
- Estudiar el comportamiento de los datos analizándolos a nivel de empresa, nivel de elevación, proyecto, contratista, entre otros posibles.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

AENOR. (s.f.). *Home*. Obtenido de <https://www.aenor.com/>

American Concrete Institute. (2014). *Requisitos de Reglamento Para Concreto Estructural*. American Concrete Institute.

APEGBC. (2013). *Structural, Fire Protection and Building Envelope Professional Engineering Services for 5 and 6 Storey Wood Frame Residential Building Projects (Mid-Rise Buildings)*. APEGBC Technical and Practice Bulletin.

Best Place To Live. (s.f.). *Somos un sello de calidad*. Obtenido de <https://bestplacetolive.cl/>

Bianco, L. (2018). Architecture , Values and Perception : Between Rhetoric and Reality. *Frontiers of Architectural Research*, 7(1), 92–99.

Botero, L. (2014). *Manual de Tolerancias Para La Construcción de Edificaciones En Colombia*.

Botero, L. (2016). *Manual de Tolerancias Para La Construcción En Colombia*.

Botero, L., Vásquez, A., & Orozco, A. (2020). *Manual de Buenas Prácticas: Entrega de Zonas Comunes*.

Botero, L., Vásquez, A., & Villegas, A. (2013). *Manual de Tolerancias Para La Construcción de Edificaciones En Colombia*.

Botero, L., Vásquez, A., Isaza, J., & Orozco, A. (2015). *Manual de buenas practicas. Aprendamos de nuestras experiencias en concreto a la vista*. Obtenido de <http://construgarantias.org/wp-content/uploads/Manual-de-buenas-practicas-2015-Concreto-a-la-vista-1.pdf>

Botero, L., Vásquez, A., Orozco, A., & Acevedo, A. (2017). *Manual de Tolerancias Para La Construcción de Edificaciones En Colombia*. Obtenido de EAFIT: [http://construgarantias.org/wp-content/uploads/Manual-de-Tolerancias-para-la-Construcci%C3%B3n-de-Edificaciones-en-Colombia\\_versi%C3%B3n-2017.pdf](http://construgarantias.org/wp-content/uploads/Manual-de-Tolerancias-para-la-Construcci%C3%B3n-de-Edificaciones-en-Colombia_versi%C3%B3n-2017.pdf)

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Camara Chilena de la Construcción. (2019). *Protocolos de inspección para la vivienda terminada*. Obtenido de

[https://www.isinergia.cl/media/servicioalcliente/Protocolos\\_de\\_Inspeccion\\_para\\_la\\_vivienda\\_terminada\\_CCHC.pdf](https://www.isinergia.cl/media/servicioalcliente/Protocolos_de_Inspeccion_para_la_vivienda_terminada_CCHC.pdf)

Cuatrecasas, L. (2017). *La Máquina Que Cambió El Mundo*.

Davis, B., Kent, W., Ledbetter, & Burati, J. (1990). Measuring Design and Construction Quality Costs. *Universite Laval, 115(3)*, 385–400.

EAFIT. (2017). *Guía Funcional Del Observatorio de Posventas*. EAFIT.

Editorial Staff of Concrete Construction. (2011). *Tolerances in Concrete Construction*.

Flores, C. (2009). La Producción Artesanal. *Visión gerencial, 1*, 37–52.

Forcada, N et al. (2012). Influence of Building Type on Post-Handover Defects in Housing. *Journal of performance of constructed facilities, 26(4)*, 433–440.

Forcada, N., Gangoellis, M., Casals, M., & Macarulla, M. (2017). Factors Affecting Rework Costs in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management, 143(8)*.

Forcada, N., Macarulla, M., Gangoellis, M., & Casals, M. (2014). Assessment of Construction Defects in Residential Building in Spain.” . *Building Research and Information, 42(5)*, 629–640.

Forsythe, P. (1999). Assessing Trade Quality in Construction- Objectivism versus Subjectivism. *Joint Triennial Symposium, 5–10*.

Forsythe, P. (2006). Consumer-Perceived Appearance Tolerances in Construction Quality Management. *Engineering, Construction and Architectural Management, 13(3)*, 307–318.

Gomez, S., Huynh, R., Arroyo, P., & Ballard, G. (2019). ulyn et al. 2019. “Changing Behaviors Upstream to Achieve Expected Outcomes. *27th Annual Conference of the International Group of Lean Construction, 13–24*.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Guide to Standards and Tolerance. (2017). *New South Wales*. Obtenido de [https://www.fairtrading.nsw.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/369980/NSW\\_Guide\\_to\\_Standards\\_and\\_Tolerances\\_.pdf](https://www.fairtrading.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0008/369980/NSW_Guide_to_Standards_and_Tolerances_.pdf)

Ichikawa, M. (1985). A Theoretical Study of Defect Detection Probability of Nondestructive Inspection. 175–182.

Jingmond, M., & Agren, R. (2015). Unravelling Causes of Defects in Construction. *Construction Innovation*, 15(2), 198–218.

Juran, J., & Godfrey, B. (1999). How to Think about Quality. En *Juran's Quality Handbook* (págs. 2.1-2.18). New York: McGraw-Hill.

Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2002). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Pearson Educación.

Mesa, J., Pacios, C., Álvarez, V., & Villanueva, J. (2016). *Analysis of the quality control planning in residential construction projects in Spain*. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rconst/v15n2/art11.pdf>

Milberg, C. (2006). *Application of Tolerance Management to Civil Systems*. Obtenido de University of California, Berkeley : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.308.5119&rep=rep1&type=pdf>

Milberg, C. (2011). *Tolerance Considerations in Work Structuring*.

Milberg, C., & Tommelein, I. (2003). *Application of Tolerance Analysis and Allocation in Work Structuring: Partition Wall Case*. Obtenido de [https://www.leanconstruction.dk/media/bpvj54on/application-of-tolerance-analysis-and-allocation-to-work-structuring\\_partition-wall-case.pdf](https://www.leanconstruction.dk/media/bpvj54on/application-of-tolerance-analysis-and-allocation-to-work-structuring_partition-wall-case.pdf)

Morin, E. (1999). Las Cegueras Del Conocimiento: El Error y La Ilusión. En *Los Siete Saberes Necesarios Para La Educación Del Futuro* (págs. 5–12). Mercedes Vallejo- Santillana.

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

Nadia, N., & Othuman, A. (2014). General Building Defects: Causes, Symptoms and Remedial Work. *Eauropean Journal of Technology and Design*, 3(1), 4–17.

Nascimento, M., & Gomes, L. (2017). Hierarchy of Value Perceived by Groups of Users About Their Neighbourhood. *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 2, 193–200.

Pidun, K et al. (2014). Discrepancy between the Desired Aesthetic Appeal and Functionality of Materials, Taking into Account the Addressee Effect. *Materiaux et Techniques*, 102(3), 303.

Prieto, J. (2014). *Gerencia Del Servicio: La Clave Para Ganar Todos*. Bogotá: Ciencias Empresariales.

Reyes, P. (2003). *Dimensiones y Tolerancias Geométricas*. Obtenido de <https://www.icicm.com/files/CurTolGeom.pdf>

Rivera, D. (2011). *Cartas de control para datos funcionales*. Obtenido de Centro de Investogación de Matemáticas, A.C.: <https://probayestadistica.cimat.mx/sites/default/files/PDFs/TE446RiveraGarcia.pdf>

Rumane, A. (2011). *Quality Management in Construction Projects*. Boca Raton: CRC Press.

Salvatierra, J. (2011). *Conceptualising Value for Construction: Experience from Social Housing Projects in Chile*. Loughborough University.

Savoini, J., & Lafhaj, Z. (2017). Considering Functional Dimensioning in Architectural Design. *Frontiers of Architectural Research*, 6(1), 89–95.

Sommerville, J., & McCosh, J. (2006). Defects in New Homes: An Analysis of Data on 1,696 New UK Houses. *Structural Survey*, 24(1), 6–21.

Talebi, S., Koskela, L., Shelbourn, M., & Tzortzopoulos, P. (2016). *Critical Review of Tolerance*. Obtenido de 24th Ann. Conference of the International Group of Lean Construction: <https://iglc.net/Papers/Details/1275/pdf>

Análisis de desviaciones asociadas a la posición y forma presentadas en elementos de construcción encaminado a la determinación de umbrales de tolerancia en proyectos de vivienda.

The British Standards Institution. (1990). *BS5606 Guide to Accuracy Building*.

Thontteh, E., & Olanrele, O. (2015). Occupants ' Perception of Quality Design and Standard in Building Services for Effective Property Management. *International Journal of Property Sciences* 5(1).

Vafadarnikjoo, A., Mishra, N., & Govindan, K. (2018). Assessment of Consumers ' Motivations to Purchase a Remanufactured Product by Applying Fuzzy Delphi Method and Single Valued Neutrosophic Sets. *Journal of Cleaner Production*, 196, 230–244.

Vásquez, A., & Botero, L. (2019). Standardizing System of Posthandover Defects for the Construction Sector in Colombia. *Journal of Architectural Engineering*, 25(2), 1–11.

Wikipedia. (s.f.). *Parapsicología*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Especial:P%C3%A1ginasEspeciales>