

METODO ESTADISTICO PARA ESTIMAR LA CALIDAD DEL TRABAJO EN LA CONSTRUCCION DE VIVIENDA

STATISTIC METHOD TO ESTIMATE THE QUALITY OF WORK IN HOUSING CONSTRUCTION

Por / By Gilberto Corona, Carlos Arcudia, José Loria

Resumen

El artículo presenta el desarrollo de un método para estimar la calidad del trabajo realizado por la mano de obra en la construcción de vivienda de interés social. Este método se basa en la medición del nivel de cumplimiento de las especificaciones del proyecto en un medio en el que generalmente los estándares de control de calidad para procesos constructivos no son respetados o simplemente no existen. El método parte del desarrollo de estándares para evaluar el desempeño de la mano de obra, cuyo grado de cumplimiento es identificado mediante la observación directa de las actividades en el sitio. Estos estándares se definieron para tres niveles de calidad (*QL*), que reflejan el grado de cumplimiento de las especificaciones del proyecto. A partir de esta información se obtuvieron niveles ponderados de calidad (*QLP*) y mediante la adaptación de un método de muestreo con índices de calidad (*QIS*), se obtuvieron parámetros denominados índices de calidad (*Q*) que sirven para estimar los porcentajes defectuosos (*PD*), en las actividades desarrolladas en un lote de viviendas. Estos porcentajes, permiten identificar los puntos críticos en el proceso que tendrían que ser intervenidos por no cumplir en gran medida con los estándares establecidos. Mediante el cotejo de los resultados obtenidos mediante la aplicación de este método en dos diferentes proyectos de vivienda, se comprobó la utilidad de esta información para identificar factores que afectan la calidad del trabajo realizado en la obra.

Palabras clave: calidad del trabajo, construcción de vivienda, niveles de calidad, niveles ponderados de calidad, muestreo con índices de calidad, porcentaje defectuoso.

Abstract

*This paper describes the development of a method to estimate the quality of work performed by masons in low-income housing construction projects. The method described is focused on measuring the level of fulfillment of project's construction specifications in a context where usually quality control standards for construction processes either are not followed or do not exist. The method starts assessing standards to qualify the performance of masons. Measuring procedures included in this method are based on direct observation to identify the level of fulfillment of those standards. These standards were defined for three quality levels (*QL*) reflecting the fulfillment of project specifications during the construction process. With the *QL* data, weighted quality levels were obtained and applying a Quality-Index-Sampling (*QIS*) method, the quality indexes (*Q*) were calculated for each activity. The Quality index is a parameter used to estimate the percentage of defect (*PD*), and allows the identification of critical activities that should be taken into account due to non-fulfillment of project specifications. Benchmarking of two different housing construction projects proved the usefulness of information obtained through this method to aid the identification of factors affecting on-site labor quality.*

Keywords: Quality of work, housing construction, quality levels, weighted quality levels, quality-index-sampling, percentage of defect.



1. INTRODUCCION

La calidad implica hacer las cosas bien desde la primera vez. El trabajo desempeñado con un nivel de calidad bajo incrementará la cantidad de trabajos re-hechos, lo cual tendrá un impacto directo en el costo y en el programa del proyecto. En la construcción de viviendas de interés social, es necesario la adopción de este enfoque, ya que la demanda a cubrir es bastante elevada y los recursos disponibles son limitados. En México, de acuerdo con el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit, 2001), se estima que para el período 2001 al 2025 se requerirán aproximadamente 19.3 millones de nuevas viviendas; sin embargo, si se considera el déficit al año 2000 que es de 3.6 millones, para el 2025 la demanda ascenderá a 22.9 millones de viviendas nuevas.

La filosofía dictada por Deming (1986) en su "cadena de reacción de la calidad y la productividad", representa uno de los enfoques que debiera darse a este problema. Esta considera que estas dos variables están directamente relacionadas con los costos de producción. Este razonamiento establece que si una organización se enfoca al mejoramiento de la calidad, resulta un decremento en los costos debido a la reducción de los trabajos re-hechos, errores, retrasos y el uso eficiente de materiales y equipos; lo cual redundará en un incremento de la productividad.

En los países más desarrollados, la mejora continua de la calidad se ha integrado a las estrategias de algunas de las empresas dedicadas a la construcción. Gracias a la facilidad de contar con información documentada sobre los procesos, Burati et al. (1992), han medido la calidad del desempeño en las etapas de diseño y construcción de un conjunto de proyectos industriales, en términos de los costos que generan las desviaciones con respecto a la calidad establecida. Mediante estudios realizados a nueve organizaciones dedicadas a esta actividad, obtuvieron que los sobrecostos, debidos a problemas de calidad en la etapa de diseño representaban en promedio el 9.5% del costo total de un proyecto y el 2.5% en la etapa de construcción. La metodología aplicada por este investigador demostró la utilidad de los datos históricos para identificar el tipo y número de desviaciones de calidad y sus costos asociados por trabajos re-hechos, así como las áreas en las que es necesario mejorar en proyectos futuros. Por otro lado, Hayden (1996) ha reconocido la experiencia que han logrado las empresas e instituciones dedicadas a la construcción, en la medición y mejoramiento de la calidad y la productividad. Explica que esto se debe a que cuentan con sistemas de calidad en sus organizaciones e incluso un avance significativo en la implantación de la filosofía de la Administración por Calidad Total (TQM Total Quality Management) y de la mejora continua. También, Yates y Anifos (1997) han identificado una estructura bien definida de estándares de calidad utilizados en la industria de la ingeniería y la construcción de los Estados Unidos. En aquel ámbito, las organizaciones gubernamentales y privadas involucradas en el diseño y la construcción han establecido estándares para su propio uso, con la intención de lograr un nivel de calidad reconocido y aceptable en su industria.

En un medio un tanto diferente como es la construcción de Hong Kong, Wong y Fung (1999) han descrito una situación un tanto similar a la observada actualmente en México, ya que mencionan que el gobierno representa el principal cliente de esta industria, en la cual la calidad ha sido siempre un problema. Sin embargo, las autoridades en vivienda de Hong Kong tomaron el mando en la promoción del aseguramiento de la calidad en la construcción desde 1991. Precisamente sobre esta problemática, mencionan el caso de la necesidad que tuvieron de reconstruir un bloque completo de edificios destinados a la vivienda pública, los cuales apenas tenían 20 años de construidos, debido a problemas con la calidad. Por ello, actualmente se exige a todos los contratistas, subcontratistas y proveedores de materiales, que se apeguen a los estándares de calidad ISO 9000 y que se acrediten ante la Agencia para el Aseguramiento de la Calidad de Hong Kong. También se adoptó el Sistema de Puntuación para la Evaluación del Desempeño (PASS por sus siglas en inglés) con el fin de verificar el desempeño de los constructores. Asimismo, dado que se ha impuesto la certificación ISO como requisito para llevar a cabo un proyecto, cada vez más las organizaciones dedicadas a la construcción que adoptan la filosofía TQM en sus operaciones. Esto con el propósito de poder competir con sus similares.

Gracias a los avances que se han dado en aquel ámbito, la estimación de la calidad se enfoca a todo el sistema que engloba el proceso productivo. Al respecto se puede mencionar el desarrollo de la matriz para la medición de la calidad realizado por Stevens et al., (1994) bajo el auspicio del Instituto de la Industria de la Construcción (CII por sus siglas en inglés). Esta herramienta basada en la TQM, sirve como guía para el desarrollo de programas de medición de la calidad en proyectos de ingeniería y construcción, en función del desempeño alcanzado por sus organizaciones. Esto permite desarrollar nuevos procesos de medición vinculados con los generalmente aceptados por la industria, determinar los procesos críticos que se requieren medir, identificar y desarrollar mediciones preventivas de la calidad del proyecto, así como apoyar el esfuerzo realizado por la industria en cuanto al entendimiento, cooperación y estandarización a nivel industria encaminado al logro de la mejora continua.

En contraste, la construcción de vivienda en la región de Yucatán presenta un evidente atraso en la adopción de filosofías enfocadas al control de la calidad de los productos que genera. Mediante estudios anteriores realizados por Guzmán (1998), se sabe que es prácticamente inexistente la consideración del concepto de calidad en la construcción de viviendas de interés social. Su estudio arrojó que ningún constructor dedicado a esta actividad había implantado sistemas para el control de calidad en sus procesos y aun menos para el aseguramiento de calidad de los productos y servicios que proporcionan.



Parte de este mismo problema es la escasez de información documentada que se genera en proyectos de este tipo, principalmente en cuanto al desempeño logrado en términos de su calidad y productividad. Esto se debe en parte a que en este contexto, las organizaciones de los contratistas encargados de estos proyectos, normalmente aplican el sistema de remuneración denominado basado en el trabajo por medida o por pieza. Esto quiere decir que la mano de obra es recompensada de acuerdo a la cantidad de trabajo que logre realizar en una semana. De este modo, existe una preocupación y disposición por parte de éstos por producir, ya que si la obra no avanza, tampoco perciben ganancia alguna. Sin embargo, un inconveniente de esto es que la organización del contratista se mantiene prácticamente ajena al control de este recurso, ya que dentro del sistema interviene una especie de líderes llamados “capataz”, que funcionan como intermediarios entre las cuadrillas de trabajadores y la organización. En la realidad son los capataces quienes administran a los trabajadores. Esto genera que la obra avance de acuerdo a las necesidades del trabajador y la mayor de las veces la calidad del trabajo también queda a su arbitrio (Corona, 1999).

Esta situación nos obliga a abordar el problema generado por la falta de control de calidad en la construcción de viviendas por partes, comenzando con la realización de estudios que permitan precisar el problema para poder tomar decisiones sobre la adopción de sistemas de calidad en este ámbito. En este sentido, la presente investigación se enfocó particularmente al estudio del proceso de producción, pero más específicamente al desempeño de la mano de obra que interviene en éste, ya que a ese nivel es directamente observable la magnitud de los problemas de calidad del producto y es posible identificar los puntos críticos que se requiere mejorar dentro del proceso.

En este artículo se describe el desarrollo de un método para estimar la calidad del trabajo, producto del desempeño de la mano de obra en el sitio; mediante éste se logra determinar estadísticamente los puntos críticos que requieren ser mejorados dentro del proceso constructivo de las viviendas de interés social. También se prueba la aplicación de este método en los proyectos de construcción de viviendas, mediante cuyos resultados se logra identificar las situaciones que inciden en la calidad del trabajo, a través de la comparación de la información obtenida.

2. DESARROLLO DEL METODO

El principal propósito de esta propuesta, fue desarrollar un método que permitiera obtener información sobre la calidad de los trabajos realizados en la edificación de vivienda de interés social, necesaria para tomar decisiones sobre su mejoramiento en futuros proyectos de este tipo. En este caso, la calidad se enfocó como el cumplimiento de las especificaciones generales y particulares del proyecto en los diferentes trabajos que desarrolla la mano de obra durante el proceso de construcción de una vivienda de interés social. La vivienda se consideró como un producto con un proceso constructivo complejo dentro del cual se generan varios productos intermedios. En el medio en el cual se llevó a cabo este desarrollo, una vivienda típica generalmente se constituye de las siguientes partidas y actividades:

- Cimentación: Incluye las actividades de muros de mampostería de piedra, zapatas cuadradas y trabes de concreto reforzado de la cimentación;
- Muros: Incluye las actividades de muros de bloques de concreto, columnas de concreto armado, trabes de concreto armado para remate en vanos,
- Techos: Incluye las actividades de habilitado de techumbre armada con sistema de vigueta y bovedilla y colado de la misma con concreto;
- Acabados: Acabados en azotea, aplanados en muros, pisos y recubrimientos.

En base a éstas, se diseñó el instrumento que permitió estimar la calidad de los trabajos realizados por la mano de obra. El procedimiento seguido para desarrollarlo se explica a continuación.

2.1 Desarrollo del Instrumento para Estimar los Niveles de Calidad

- a) Se formuló el formato mostrado en la Tabla 1, como medio para verificar la calidad de los trabajos en el sitio mediante la observación directa. Se trata básicamente de una lista de características de calidad que determinan las especificaciones que deben cumplir cada uno de los conceptos o actividades que conforman el proceso constructivo de una vivienda de interés social, mediante cuya evaluación puede definirse la aceptación o el rechazo de la actividad correspondiente.
- b) Para cada uno de estas características de calidad, se establecieron criterios estándares para estimar el nivel de cumplimiento de las especificaciones establecidas para las actividades durante el proceso constructivo. Ya que en las organizaciones a cargo de los proyectos de la construcción de vivienda de interés social es escasa la documentación y establecimiento de estándares de construcción, se realizó una revisión de la bibliografía existente sobre las especificaciones técnicas de construcción definidas para esta actividad. Finalmente, estos criterios estándares se basaron en los siguientes documentos normativos de diferentes instituciones gubernamentales en México: Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Obras Públicas, Especificaciones Generales y Técnicas



de Construcción de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, Normas de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el Manual de Procedimientos y Especificaciones de construcción del Infonavit, así como del Reglamento de Construcciones del Municipio de la ciudad de Mérida.

Fue necesario adaptar esta información en base a la experiencia personal de los administradores técnicos a cargo de diferentes proyectos de vivienda de interés social, ya que gran parte de la bibliografía consultada no se enfocaba específicamente a la construcción de viviendas y generalmente se refería a procedimientos de construcción distintos a los empleados en el medio estudiado (Corona, 1999).

Estos criterios se definieron de acuerdo a tres niveles de calidad (QL) a los cuales se les asoció con la siguiente escala ordinal de valores: Totalmente Aceptable = 2, Suficientemente Aceptable = 1, No Aceptable = 0. Estos niveles se determinaron en base a la tolerancia que el supervisor puede tener al momento de evaluar el trabajo. El primer nivel considera que el trabajo ha cumplido exactamente con todas las especificaciones exigidas; el segundo indica que el trabajo presenta ciertas desviaciones con respecto a lo especificado pero que no ameritan desecharlo; y el tercero contempla que es necesario rechazarlo, lo cual necesariamente implica rehacer el trabajo.

- c) A cada uno de estas características de calidad fue necesario adjudicarle un valor o crédito (P) que ponderara su importancia dentro del proceso constructivo global de la vivienda. Esto fue con el fin de que al promediar los QL registrados en cada característica, los conceptos con menor impacto dentro del proceso no anularan el de otros conceptos que se debían considerar como más críticos en cuanto a la calidad total de la vivienda completa. Estos valores de ponderación se definieron en una escala de valores de 1 a 4 (columna P de la Tabla 1) de acuerdo con el siguiente criterio: muy poco impacto = 1; poco impacto = 2; regular impacto = 3 y mucho impacto = 4.

Tabla 1. Formato para verificar la calidad de los trabajos en la obra

Fracc: _____ Grupo: _____ Vivienda No. _____ Fecha Inicio: _____
 Maestro: _____ Residente: _____ Fecha Term: _____

Miembros de la cuadrilla:																			Observaciones
Características de calidad a evaluar																			
CIMENTACIÓN	Amarre de piedras en muros de mampostería																		
	Del muro de mampostería																		
	Alineación vertical de muros de mampostería																		
	Amarre de muros interceptados																		
	Nivelación de la corona de cimentación																		
	Ancho del muro de mampostería																		
	Anclaje de acero refuerzo p/columna																		
	Sección de zapatas de concreto																		
	Armado de trabe de concreto reforzado de la cimentación																		
	Sección/recubrimiento de trabe de cimentación																		
	Ubicación anclajes bastones de acero de refuerzo p/columnas embebidas																		
	Impermeabilización de la cimentación																		
MUROS	Rectitud de ángulos en ejes de muros																		
	Dimensiones de las habitaciones																		
	Ancho de los claros de puertas																		
	Espesor/recorte de mortero en juntas																		
	Nivelación y alineación de los bloques																		
	Amarre a medio block																		
	Ancho de los claros de las ventanas																		
	Traslapes y colado de columnas embebidas																		
	Altura y nivelación de muros																		
	Sección/armado de columnas reforzadas																		
	Sección/armado trabes de remate vanos																		
	Altura y nivel trabes remate en vanos																		
Dimensión/alineación de los apoyos de trabes de remate en vanos																			



Entre estos métodos, el método de muestreo con índices de calidad (QIS por sus siglas en inglés) es usado frecuentemente en la construcción. Este método, incluye determinar índices de calidad (Q) a partir de magnitudes tomadas de una muestra. Los índices de calidad son valores estadísticos utilizados para estimar los porcentajes defectuosos (PD) de un lote determinado. Los valores Q se emplean en lugar de los valores de z para obtener los PD correspondientes, ya que no es recomendable el uso de la distribución normal, pues ésta solamente es apropiada cuando el tamaño de la muestra es mayor de 30 (Chang y Hsie, 1995).

Para las condiciones bajo las cuales se desarrolló este método, se vio la conveniencia de aplicar este procedimiento estadístico, ya que sus ventajas mencionadas por Chang y Hsie (1995) son que el tamaño de la muestra puede ser definida subjetivamente, dependiendo de las restricciones de costos para el proceso de medición, el proyecto a evaluar, restricciones de tiempo, y otros.

En este caso, los índices de calidad (Q) se obtuvieron para cada concepto de la Tabla 1, tomando como muestras los niveles ponderados de calidad (QLP) obtenidos de determinado número de viviendas observadas, de acuerdo a la Fórmula 3:

$$Q = \frac{\bar{X} - L}{s} \quad (3)$$

en donde: \bar{X} = media de la muestra, (en este caso de los valores QLP)
 s = desviación estándar estimada de la muestra
 L = límite inferior especificado.

Los autores anteriores mencionan que para el método QIS el límite inferior debe ser la tolerancia máxima que especifique el cliente, que para el caso de los parámetros QL queda definido por el nivel equivalente a "suficientemente aceptable"; es decir, se consideró que el valor de L estaría en función de QL = 1. Por lo tanto, para cada aspecto se consideró que su límite inferior L sería su correspondiente valor ponderado P, ya que $L = P \times 1 = P$.

Retomando el ejemplo de las zapatas de cimentación, tenemos que en el proyecto A se logró una muestra de 7 viviendas con niveles ponderados de calidad (QLP) de 2.92, 2.92, 2.69, 3.75, 2.15, 3.63 y 3.58; cuya media y desviación estándar resultaron ser 3.09 y 0.588 respectivamente (ver Tabla 4). Con estos valores y aplicando la Fórmula 3, se obtuvieron los índices de calidad (Q), tal como se muestra a continuación. Recuérdese que el límite inferior (L) para cada aspecto y actividad corresponde a su valor ponderado (P).

$$Q = \frac{\bar{X} - L}{s} = \frac{3.09 - 2.5}{0.588} = 1.01$$

Al contar con los valores Q en cada concepto, se puede obtener los porcentajes defectuosos PD mediante las tablas de estimación del porcentaje defectuoso del lote para diversos valores del índice de calidad Q definidas según la Norma Militar 414 (MJL-STD-414) que han sido desarrolladas para simplificar el cálculo de éstos. Esta norma se considera dentro de los métodos de muestreo por variables y puede aplicarse a una especificación con un solo límite L o U, o a una especificación con dos límites. La aplicación que hacemos aquí de esta norma, solamente considera el *límite inferior especificado* (L), como ya se planteó anteriormente. La MIL-STD-414 incluye dos planes de aplicación: uno cuando se conoce la variabilidad de la población o lote al que se le mide la variable de interés (en este caso la variable es el nivel ponderado de calidad - QLP) y otro cuando se desconoce, como es el caso que nos atañe ahora, por lo que solamente nos referiremos a este último. A su vez, en los planes con variabilidad desconocida es posible aplicar o bien el "método de la amplitud" o el "método de la desviación tipo" para estimar la variabilidad del lote (Grant y Leavenworth, 1984). Este último método es el que sugiere aplicar Chang y Hsie (1995) y requiere el uso de unas tablas auxiliares que proporcionan un valor estimado del *porcentaje defectuoso* (PD) del lote basado en un *índice de calidad* (Q) calculado a partir de cierto estadístico de la muestra tomada del lote, como ya se explicó anteriormente. De acuerdo al plan de aplicación que corresponda al caso (variabilidad desconocida o conocida) y al tamaño de la muestra (n), en aquellas tablas se puede localizar los PD del lote una vez que se tienen los índices de calidad Q. Cabe aclarar que el tamaño de la muestra (n), en este caso fue la cantidad de viviendas observadas en cada actividad. En la Tabla 3 se presenta una pequeña sección de una de estas tablas, con el fin de aclarar el procedimiento de localización de los PD. Por ejemplo, recurriendo a estas tablas y haciendo algunas interpolaciones, obtuvimos los porcentajes defectuosos en el concepto de zapatas de cimentación del lote de viviendas observadas en el Proyecto A, que para Q = 1.01 se estima que le corresponde un 15.83% de producto defectuoso.

Tabla 3. Estimación del porcentaje defectuoso del lote para diversos valores del índice de calidad tal como se define en el MIL-STD-414

Q	Variabilidad desconocida, método de la desviación tipo	Variabilidad desconocida, método de la amplitud tipo	Variabilidad conocida
---	--	--	-----------------------



	n = 7	n = 10	n = 15	n = 20	n = 7	n = 10	n = 15	n = 25	cualquier n
0.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.000
0.10	46.26	46.16	46.10	46.08	46.29	46.20	46.13	46.08	46.017
0.20	42.54	42.35	42.24	42.19	42.60	42.42	42.29	42.19	42.074
0.30	38.87	38.60	38.44	38.37	38.95	38.70	38.51	38.38	38.209
0.35	37.06	36.75	36.57	36.49	37.15	36.87	36.65	36.50	36.317
0.40	35.26	34.93	34.73	34.65	35.36	35.05	34.82	34.66	34.458
4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.003

Aunque el método *QIS* es una aplicación estadística simplificada y basada en la Norma Militar 414, en el cual no se requiere definir gran cantidad de parámetros de calidad como otros métodos de muestreo por aceptación, para éste sí se requiere contar con un criterio de aceptación llamado porcentaje defectuoso permisible (APD) que debería ser especificado por el cliente (Weed, 1989). Obviamente, una vivienda es un producto complejo en el que sería muy costoso corregir hasta el final los componentes que hayan salido defectuosos, por lo que debe controlarse su calidad durante el mismo proceso. Lo que nos proporciona este método, es una estimación del porcentaje de viviendas con desviaciones para cada etapa de su construcción, su fin es determinar en qué partes del proceso se requiere mayor atención de acuerdo a la calidad de mano de obra con que se cuenta en la obra.

3. RESULTADOS DE LA APLICACION

De acuerdo al procedimiento anterior, en el sitio de trabajo se realizaron recorridos diarios en el sitio preferiblemente al final de la jornada. En cédulas como las mostradas en la Tabla 1 llevado por cada vivienda observada, se registraron las estimaciones de la calidad para cada aspecto enlistado de acuerdo a los niveles de calidad (*QL*) establecidos. El procedimiento se aplicó para evaluar el trabajo desempeñado por las cuadrillas asignadas a dos diferentes grupos de viviendas de interés social en la ciudad de Mérida, Yucatán; los cuales hemos denominado A y B. En la Tabla 4, se ha resumido las actividades que se lograron observar en los estudios de campo realizados en ambos proyectos, así como la cantidad de viviendas y de trabajadores respectivos a cada una. Como se puede apreciar, estas actividades únicamente corresponden a las partidas de cimentación, muros y techos, ya que las actividades que comprende la partida de acabados quedaron fuera del alcance de esta aplicación experimental.

La tecnología y procedimientos empleados en la construcción de viviendas es común a todos los proyectos de este tipo en la región, por lo que el diseño de las unidades observadas en ambos proyectos fue bastante similar. De esta manera, se estimaron los parámetros explicados anteriormente en cada aspecto evaluado para A y B, cuyos resultados se concentran en las Tablas 5 y 6 respectivamente. Con esta información y mediante la aplicación de procedimientos estadísticos se hicieron inferencias sobre la calidad del trabajo realizado en los proyectos en los que se aplicó el método.

Tabla 4. Cantidades de viviendas y trabajadores observados

ACTIVIDAD	Proyecto A			Proyecto B		
	Cantidad de Viviendas	Trabajadores		Cantidad de Viviendas	Trabajadores	
		Albañil	Jornal		Albañil	Jornal
Mampostería de piedra	9	8	4	8	20	9
Zapatas de cimentación	7	6	1	7	6	4
Trabes reforzadas de cimentación	7	9	6	7	8	7
Muros de Bloques de concreto	7	8	4	7	20	14
Columnas y trabes de concreto armado	7	6	5	6	9	11
Habilitado de techumbre vigueta/bov	7	4	2	6	14	16
Colado de losa	7	5	3	6	10	14

Con los resultados procesados de esta manera, fue posible comparar de manera más precisa los diferentes niveles de calidad en los trabajos observados en los proyectos A y B, así como identificar más claramente las actividades que deberían considerar críticas dentro del proceso por presentar un bajo nivel de calidad. En las figura 1



aparecen los *PD* correspondientes a cada una de las actividades enlistadas en la Tabla 4. Aunque en esta gráfica se aprecia claramente que los resultados entre A y B fueron sustancialmente diferentes, también se aplicó el procedimiento U de Mann-Whitney para muestras no paramétricas con datos independientes, para determinar estadísticamente si la diferencia entre los niveles ponderados de calidad (QLP) de ambos proyectos fue significativa. En la Tabla 7 se ha resumido los resultados obtenidos mediante la aplicación del Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS por sus siglas en inglés) y se observa que en todas las actividades a excepción de las zapatas, los (QLP) fueron significativamente diferentes. A partir de estos resultados, se puede establecer que ciertamente en el proyecto A prevalecieron algunas condiciones que hicieron posible el logro de una mejor calidad en los trabajos realizados ahí. De esta manera, sería posible determinar los factores que afectan la calidad durante el proceso constructivo complementando el método presentado en este trabajo con la observación de las condiciones y características de la organización y la mano de obra que se estén evaluando.

Tabla 5. Resultados de los QLP y Porcentajes Defectuosos (PD) en el Proyecto A

Características de calidad evaluadas en la partida de CIMENTACIÓN	L	QLP por vivienda									\bar{X}	s	Q	PD
		1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Amarre de piedras en muro de mampostería	4	4.89	2.00	2.67	2.22	3.60	2.00	2.29	0.50	4.67	2.76	1.399	-0.89	80.96%
Acuñado del muro de mampostería	3	4.00	1.88	2.67	3.67	3.30	2.50	0.86	2.00	3.50	2.71	1.014	-0.29	60.94%
Alineación vertical de muros de mampostería	3	4.33	4.50	5.33	4.00	5.67	4.50	2.14	4.50	3.50	4.28	1.027	1.24	10.13%
Amarre de muros interceptados	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	-∞	100.00%
Nivelación de corona de cimentación	3	2.00	2.25	2.67	1.67	4.50	2.50	1.80	3.60	4.00	2.78	1.019	-0.22	58.33%
Ancho del muro de mampostería	4	6.22	6.00	5.78	4.00	7.14	6.67	4.00	4.00	6.67	5.61	1.271	1.27	9.73%
Muros de mampostería de piedra	3.5	3.63	2.84	3.31	2.72	4.19	3.11	1.85	2.62	3.79	3.12	0.705	-0.54	69.90%
Anclaje de acero refuerzo p/ columnas	3	4.00	4.00	4.20	5.00	2.50	4.71	3.60	-	-	4.00	0.812	1.23	10.43%
Sección de zapatas de concreto	2	2.00	2.00	1.50	2.67	1.78	2.67	3.33	-	-	2.28	0.636	0.44	33.84%
Zapatas de cimentación	2.5	2.92	2.92	2.69	3.75	2.15	3.63	3.58	-	-	3.09	0.588	1.01	15.83%
Armado de trabe de concreto reforzado de la cimentación	4	5.33	5.60	3.33	1.33	5.33	2.67	1.33	-	-	3.56	1.880	-0.23	58.56%
Sección/ recubrimiento de trabe de cimentación	4	4.00	3.56	6.00	5.33	5.33	6.67	5.33	-	-	5.17	1.079	1.09	13.75%
Ubicación anclajes bastones de acero de refuerzo p/ columnas embebidas	3	4.80	4.50	4.80	6.00	6.00	6.00	6.00	-	-	5.44	0.702	3.48	0.00%
Impermeabilización cimentación	3	3.00	3.60	3.00	3.30	3.00	3.00	3.00	-	-	3.13	0.236	0.54	30.35%
Trabes de cimentación	3.5	4.32	4.37	4.32	4.17	4.96	4.67	4.08	-	-	4.41	0.303	3.01	0.00%

Características de calidad evaluadas en la partida de MUROS	L	QLP por vivienda							\bar{X}	s	Q	PD
		1	2	3	4	5	6	7				
Rectitud de ángulos en ejes de muros	3	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	0.000	+∞	0.00%
Dimensiones de las habitaciones	4	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	0.000	+∞	0.00%
Ancho de los claros de puertas	3	4.00	5.00	4.20	4.00	5.25	5.00	5.25	4.67	0.579	2.89	0.00%
Espesor/recorte de mortero en juntas	3	4.91	3.00	3.00	3.90	2.73	1.75	1.33	2.95	1.214	-0.04	51.50%
Nivelación y alineación de los bloques	4	6.00	4.00	3.50	5.60	6.00	2.80	3.11	4.43	1.399	0.31	38.51%
Amarre a medio block	4	6.80	6.00	5.60	6.00	4.00	3.56	5.33	5.33	1.158	1.15	12.27%
Ancho de los claros de ventanas	1	2.00	1.75	2.00	2.00	2.00	1.75	2.00	1.93	0.122	7.61	0.00%
Traslapes y colado de columnas embebidas	3	3.00	0.75	0.60	3.00	0.75	1.20	1.50	1.54	1.042	-1.40	93.02%
Altura y nivelación de los muros	2	3.50	3.00	2.67	3.50	3.20	1.75	2.80	2.92	0.606	1.51	5.13%
Muros de bloques de concreto	3	4.97	4.22	4.07	4.76	4.34	3.62	4.07	4.29	0.455	2.84	0.00%
Sección/armado de columnas reforzadas	4	7.11	6.00	6.00	5.71	7.20	4.40	5.82	6.03	0.943	2.16	0.05%
Sección/armado trabes de remate vanos	4	7.00	3.60	3.20	4.57	5.00	1.14	2.67	3.88	1.870	-0.06	52.24%
Altura y nivel trabes de remate vanos	2	4.00	2.80	4.00	3.33	4.00	3.33	4.00	3.64	0.485	3.38	0.00%
Dimensión/alineación de los apoyos de trabes de remate en vanos	4	6.67	8.00	8.00	8.00	6.40	4.00	7.00	6.87	1.434	2.00	0.43%
Columnas y trabes de remate vanos	3.5	6.30	5.08	5.51	5.46	5.82	3.55	5.14	5.26	0.864	2.04	0.29%



Aspectos evaluados en la partida de LOSA	L	QLP por vivienda							\bar{X}	s	Q	PD
		1	2	3	4	5	6	7				
Modulación de vigueta y bovedilla	3	6.00	4.50	5.40	6.00	4.00	5.00	5.40	5.19	0.745	2.93	0.00%
Armado y sección de trabes ahogadas	4	4.00	4.00	6.00	5.33	6.00	6.00	6.00	5.33	0.943	1.41	6.80%
Armado y sección de cadena perimetral	3	4.20	4.80	5.00	3.60	5.00	3.60	5.00	4.46	0.650	2.24	0.00%
Habilitado de techumbre	3.3	4.89	4.56	5.52	5.04	5.00	4.85	5.52	5.05	0.354	4.86	0.00%
Alineación de la cadena perimetral embebida en losa de concreto	2	2.50	4.00	2.67	2.50	3.33	3.20	2.67	2.98	0.558	1.76	2.02%
Colocación uniforme de concreto	4	4.00	5.00	6.00	6.00	6.00	4.80	6.00	5.40	0.808	1.73	2.31%
Colado de techumbre con concreto	3	3.38	4.88	4.25	4.13	4.75	4.20	4.25	4.26	0.487	2.59	0.00%

Tabla 6. Resultados de los QLP y Porcentajes Defectuosos (PD) en el Proyecto B

Aspectos evaluados en la partida de CIMENTACIÓN	L	QLP por vivienda								\bar{X}	s	Q	PD
		1	2	3	4	5	6	7	8				
Amarre de piedras en muro de mampostería	4	2.67	0.62	1.33	1.54	1.60	1.85	1.07	1.54	1.53	0.596	-4.15	100.00%
Acuñado del muro de mampostería	3	2.50	2.31	2.00	2.77	1.64	2.31	1.60	1.62	2.09	0.448	-2.03	99.63%
Alineación vertical de muros de mampostería	3	3.00	1.85	2.80	1.85	4.91	2.54	5.20	2.54	3.08	1.285	0.07	47.35%
Amarre de muros interceptados	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	-∞	100.00%
Nivelación de corona de cimentación	3	3.00	3.00	3.00	3.00	3.55	1.80	3.75	1.85	2.87	0.706	-0.19	57.52%
Ancho del muro de mampostería	4	6.67	6.00	4.62	6.33	3.27	7.00	5.54	3.38	5.35	1.444	0.94	17.43%
Muros de mampostería de piedra	3.5	3.01	2.03	1.38	2.63	2.67	2.58	3.01	1.88	2.40	0.580	-1.89	98.73%
Anclaje de acero refuerzo p/ columnas	3	2.25	2.25	2.25	3.38	5.25	4.88	-	3.75	3.43	1.270	0.34	37.40%
Sección de zapatas de concreto	2	2.25	0.75	1.50	2.00	3.25	2.50	-	1.25	1.93	0.838	-0.09	53.37%
Zapatas de cimentación	2.5	2.34	1.41	1.88	2.66	4.22	3.59	-	2.34	2.63	0.973	0.14	44.77%
Armado de trabe de concreto reforzado de la cimentación	4	0.80	3.00	2.40	2.67	1.45	2.33	-	1.67	2.05	0.769	-2.54	100.00%
Sección/ recubrimiento de trabe de cimentación	4	3.60	4.00	4.40	4.00	3.27	2.67	-	3.33	3.61	0.579	-0.67	74.00%
Ubicación anclajes bastones de acero de refuerzo p/ columnas embebidas	3	3.00	2.31	3.00	3.00	5.33	4.88	-	1.88	3.34	1.284	0.27	39.97%
Impermeabilización cimentación	3	2.25	2.00	2.40	3.67	3.43	2.00	-	3.33	2.73	0.723	-0.38	64.02%
Trabes de cimentación	3.5	2.49	2.79	3.06	3.40	3.59	3.10	-	2.61	3.01	0.403	-1.22	89.35%

Aspectos evaluados en la partida de MUROS	L	QLP por vivienda								\bar{X}	s	Q	D
		1	2	3	4	5	6	7	8				
Rectitud de ángulos en ejes de muros	3	6.00	5.50	5.63	4.80	2.33	4.00	-	3.27	4.50	1.357	1.11	13.25%
Dimensiones de las habitaciones	4	7.11	3.11	5.60	6.40	7.56	3.56	-	5.60	5.56	1.689	0.92	18.33%
Ancho de los claros de puertas	3	5.40	4.80	6.00	6.00	6.00	1.20	-	6.00	5.06	1.761	1.17	11.80%
Espesor/recorte de mortero en juntas	3	2.80	0.92	1.64	1.00	3.20	1.62	-	2.20	1.91	0.866	-1.26	90.23%
Nivelación y alineación de los bloques	4	4.86	1.54	4.00	3.20	3.71	1.23	-	2.67	3.03	1.315	-0.74	76.24%
Amarre a medio block	4	5.87	3.43	4.73	1.85	4.00	3.43	-	3.08	3.77	1.277	-0.18	56.72%
Ancho de los claros de ventanas	1	1.00	0.71	1.43	1.14	1.86	1.14	-	1.83	1.30	0.427	0.71	24.71%
Traslapes y colado de columnas embebidas	3	1.62	1.36	0.67	1.15	1.15	0.82	-	0.23	1.00	0.464	-4.31	100.00%
Altura y nivelación de los muros	2	1.20	1.50	1.33	1.60	2.80	2.33	-	2.80	1.94	0.690	-0.09	53.37%
Muros de bloques de concreto	3	3.78	2.56	3.44	3.04	3.77	2.30	-	3.32	3.17	0.572	0.30	38.87%
Sección/armado de columnas reforzadas	4	2.67	2.67	4.00	4.31	-	5.33	-	2.80	3.63	1.099	-0.34	62.60%
Sección/armado trabes de remate vanos	4	5.00	5.33	5.20	5.60	-	4.44	-	1.00	4.43	1.724	0.25	40.70%
Altura y nivel trabes de remate vanos	2	3.50	3.60	3.78	3.27	-	3.56	-	3.60	3.55	0.165	9.39	0.00%
Dimensión/alineación de los apoyos	4	4.33	2.33	3.20	4.00	-	4.80	-	1.50	3.36	1.263	-0.51	68.26%



de traves de remate en vanos													
Columnas y traves de remate vanos	3.5	4.16	3.84	4.37	4.47	-	4.74	-	2.73	4.05	0.714	0.77	22.82%

Aspectos evaluados en la partida de LOSA	L	QLP por vivienda								D			
		1	2	3	4	5	6	7	8				
Modulación de vigueta y bovedilla	3	2.40	2.40	2.31	4.00	-	4.50	-	2.77	3.06	0.946	0.07	47.38%
Armado y sección de traves ahogadas	4	2.91	3.27	4.00	4.00	-	2.00	-	1.33	2.92	1.079	-1.00	84.20%
Armado y sección de cadena perimetral	3	0.86	2.57	2.70	4.20	-	0.69	-	1.00	2.00	1.391	-0.72	75.29%
Habilitado de techumbre	3.3	2.01	2.75	2.97	4.15	-	2.48	-	1.77	2.69	0.844	-0.77	77.18%
Alineación de la cadena perimetral embebida en losa de concreto	2	3.14	1.60	2.27	2.93	-	1.87	-	1.86	2.28	0.630	0.44	33.84%
Colocación uniforme de concreto	4	4.44	4.80	4.50	5.00	-	3.00	-	4.00	4.29	0.718	0.40	35.26%
Colado de techumbre con concreto	3	4.02	3.00	3.39	4.08	-	2.53	-	2.89	3.32	0.630	0.50	31.64%

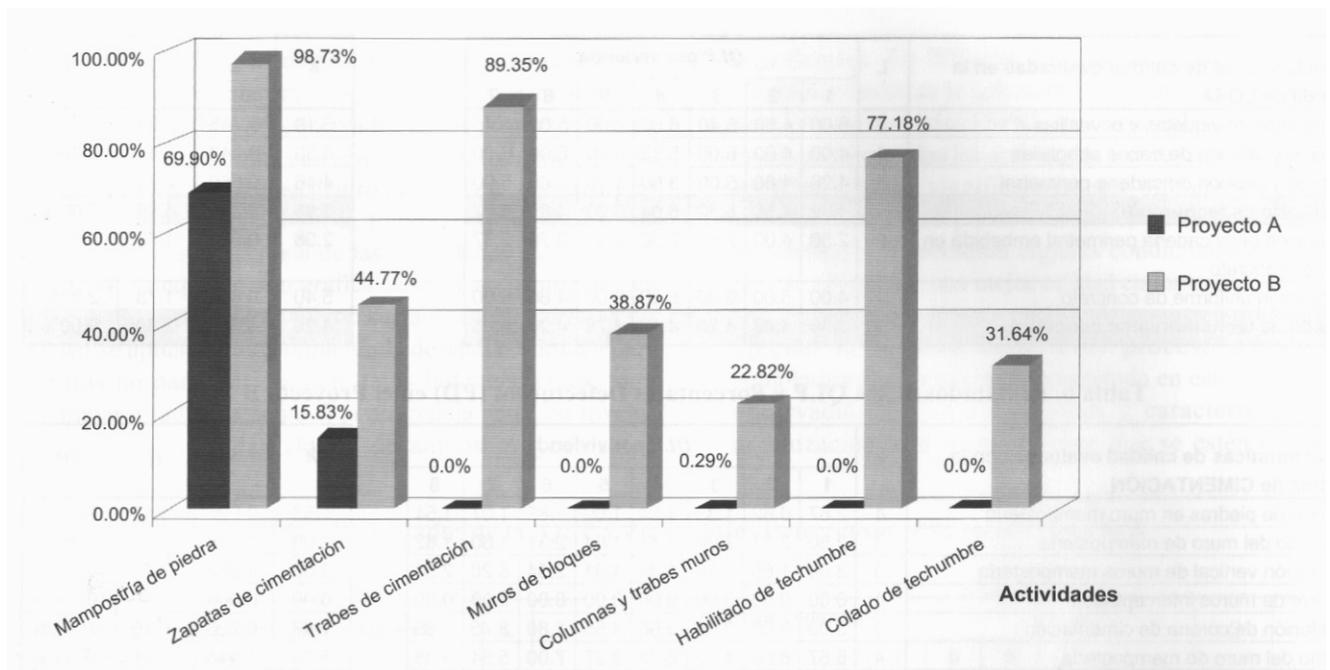


Figura 1. Porcentajes Defectuosos (PD) por actividad



Tabla 7. Resultados de la prueba *U de Mann Whitney*

Actividad		Media	Desv. estándar	Coficiente U de Mann Whitney	Significancia (2 colas)
Mampostería de piedra	17	2.7794	0.7302	15.00	.046 *
Zapatas de cimentación	14	2.8629	0.8072	15.00	.259
Trabes reforzadas de cimentación	14	3.7093	0.8068	.00	.001 **
Muros de bloques de concreto	14	3.7329	0.7646	2.00	.002 **
Columnas y trabes de concreto armado	14	4.6514	0.9732	6.00	.017 *
Habilitado de techumbre vigueta/bov.	13	3.9623	1.3663	.00	.001 **
Colado de la techumbre con concreto	13	3.8269	0.7237	3.00	.008 **

* La diferencia es significativa al nivel de significancia de $\alpha = 0.05$

** La diferencia es significativa al nivel de significancia de $\alpha = 0.01$

3.1 Interpretación de los Resultados

En los resultados reportados en las Tablas 5 y 6, se aprecia que en general las actividades realizadas en A, resultaron con un nivel de calidad significativamente mejor que en B. Sin embargo, se puede decir que en el caso de las actividades inherentes a la partida de cimentación, fueron tanto en A como en B, las que resultaron con los niveles de calidad más bajos. Se observó que la actividad más deficiente fue la actividad de muros de mampostería de piedra con índices de *PD* de 69.90% en A y de 98.73% en B. Con los resultados de las Tablas 5 y 6, se puede identificar que los aspectos que resultaron con menor calidad en esta actividad, es decir que resultaron con los *PD* más altos fueron: el amarre de piedras en muros de mampostería, el acuñado de piedras de la mampostería, los amarres de muros interceptados, así como la nivelación de la corona de cimentación. Sobre esto se debe anotar que los procedimientos empleados en estos conceptos, son los que se realizan de la manera más artesanal dentro del proceso constructivo, es decir, con antiguas técnicas que hoy no cuentan con los recursos materiales, humanos ni de tiempo para realizarse adecuadamente. Otros conceptos bastante deficientes fueron los relativos a las estructuras de concreto en la cimentación, como son la sección de las zapatas y de las trabes de concreto reforzado de la cimentación, lo cual debe considerarse lógico si se toma en cuenta que para la cimbra de estas estructuras, no se contó con los materiales y herramientas apropiados. Principalmente en B, se observó que el trabajador debió ingeniar precariamente procedimientos para el cimbrado con los elementos que tenía a su alcance, ya que la administración técnica de aquel proyecto no los proporcionó. Ahí también se identificaron otros trabajos bastante deficientes como el armado del refuerzo de acero de las trabes de cimentación, la impermeabilización de estas trabes y la ubicación de los anclajes de bastones de acero de refuerzo de columnas embebidas en los muros de bloques. Este resultado se debe asociar con el deficiente suministro de la información a la mano de obra, así como de los materiales especificados.

Por otro lado, no obstante el trabajo realizado en actividad de muros de bloques, se pudieron identificar algunos puntos críticos como son el traslape y colado de las columnas embebidas en muros (93.02% de *PD* en A y 100.00% en B), el espesor y recorte de las juntas entre bloques con mortero (51.50% en A y 90.23% en B), la nivelación y plomado de los muros (38.51% en A y 76.24% en B) y el amarre de los bloques (12.27% en A y 56.72% en B). Entre las causas de los resultados anteriores que fueron observadas en el campo están, la falta de herramientas apropiadas para la realización de la actividad, así como la capacidad y disposición de la mano de obra para llevarla a cabo. Por otro lado, aunque en menor grado, los trabajos en columnas y trabes de concreto reforzado presentaron desviaciones en cuanto a su sección y armado, por razones similares a las indicadas anteriormente para las estructuras de concreto de la cimentación.

En el caso del habilitado y colado de las losas de vigueta y bovedilla, solamente en B se observaron defectos significativos, ahí globalmente se obtuvo un *PD* del 77.18% en el habilitado de la losa y 31.64% en el colado con concreto. En general, esto se explica por las condiciones de trabajo que prevalecieron en aquel sitio y que reflejan en general el grado de eficiencia de la administración del proyecto. Para generalizar es importante apuntar que en cuanto a este factor, se observó una situación considerablemente mejor en el proyecto A, lo cual explica en buena medida la diferencia significativa obtenida entre ambos sitios con respecto a la calidad lograda de los trabajos.

4. DISCUSIÓN

La adaptación del método de muestreo por aceptación presentada en este documento, resultó ser de utilidad en la identificación de las actividades que representan puntos críticos en la calidad del proceso constructivo de las viviendas de interés social. Su principal ventaja es la sencillez de su aplicación a partir de la observación del trabajo realizado por la mano de obra en el sitio. Con los parámetros de calidad obtenidos mediante el procedimiento de estimación desarrollado, se pudo cotejar las condiciones de trabajo que resultan de las organizaciones que procuran los mejores niveles



de calidad durante el proceso. Todo esto, a pesar de la falta de información sobre los parámetros estándares de calidad en el medio de estudio.

Chang y Hsie (1995) han establecido que la ventaja del método de muestreo por índices de calidad (QIS por sus siglas en inglés) es precisamente la flexibilidad en la asignación del nivel de calidad aceptable. Han señalado que éste es apropiado para el inicio del establecimiento de sistemas de aseguramiento de la calidad. Frecuentemente cuando el cliente comienza a desarrollar un nuevo método de especificaciones de aceptación para el aseguramiento de la calidad, los parámetros de calidad son totalmente desconocidos; por lo tanto, no es posible definir los niveles aceptables de calidad (AQL) ni los niveles rechazables de calidad (RQL). En estos casos, primero puede aplicarse el método de muestreo por índices de calidad, ya que éste es una aplicación estadística simplificada que no requiere definir los coeficientes de control de riesgo α [el riesgo del productor, pues es la probabilidad de que el cliente rechace el nivel aceptable de calidad (AQL) que el contratista espera acepte el cliente] ni β [el riesgo del cliente, pues es la probabilidad de que este acepte un producto con un nivel no aceptable de calidad (RQL)]. En esta fase inicial solamente es necesario fijar un nivel de calidad mínimo aceptable y determinar un tamaño de muestra razonable basándose en experiencias pasadas. Sin embargo, por lo mismo su principal desventaja es que no provee información sobre la probabilidad de aceptación para diferentes niveles de calidad; es decir, los coeficientes de riesgo α y β no son analizados o controlados. Por lo tanto, el cliente y el constructor no tienen idea de la probabilidad de aceptación de un trabajo en particular con un determinado nivel de calidad.

Otro método más apropiado sugerido por estos mismos investigadores es el muestreo sencillo por variables, ya que es bastante más preciso. Este método utiliza mejor la información proporcionada por los datos, así que el tamaño de la muestra podría ser reducida. Sin embargo, para aplicarlo se requiere de los antecedentes estadísticos descritos anteriormente (AQL, RQL, α y β), así como de mayor conocimiento básico de estadística, lo cual comúnmente no se encuentra en los inspectores encargados del control en el sitio de trabajo. Sin embargo, es importante resaltar que precisamente uno de los principales problemas que enfrenta el control de la calidad en el contexto estudiado, es la falta de esta información sobre parámetros de calidad de los procedimientos constructivos aplicados en la región. Aquí es necesario reconocer el atraso que existe en el establecimiento de especificaciones, estándares y parámetros de calidad en la construcción de vivienda. Por esta razón, no obstante el método QIS resultó factible de adaptar por su sencillez, su aplicación fue parcial debido a que en este contexto no están establecidos los porcentajes defectuosos permisibles que reflejen la tolerancia del cliente. El problema que se tiene con esta situación, es que cada supervisor o peor aún, cada trabajador tiene su propio criterio para determinar qué es aceptable y qué no lo es o qué tanto las desviaciones en las especificaciones pueden pasarse por alto en los trabajos realizados.

Al parecer, lo anterior viene en parte por la falta de compromiso por parte de las organizaciones involucradas en esta actividad para el mejoramiento de la calidad y la productividad. De acuerdo al estudio de Guzmán (1998), la razón expresada por la mayoría de los constructores de vivienda para no haber considerado la implantación de sistemas de calidad en sus organizaciones (74.2% de los entrevistados), es que esto no es un requerimiento del Infonavit. Esta institución gubernamental es la principal proveedora de financiamiento para la construcción de vivienda en México y sin embargo, es escasa su intervención como cliente durante el diseño y construcción de este producto. En todo proceso de calidad, la participación del cliente es indispensable y en este caso, es el cliente final o usuario de la vivienda quien finalmente resiente los defectos generados durante estos procesos. Todo esto, ha complicado el desarrollo de instrumentos que logren determinar el desempeño logrado en proyectos de construcción de viviendas en términos de su calidad y productividad.

Por el contrario, bajo las condiciones que prevalecen en países más desarrollados descritas al principio de este trabajo, se puede llevar a cabo auditorías con base en las normas ISO y otros estándares establecidos para definir los niveles de calidad de los proyectos que llevan a cabo. Esto es posible ya que se cuenta con sistemas de control de calidad, estándares de diseño y especificaciones para los procesos. Desde luego todo esto permite recomendar e implantar mejoras en los sistemas de producción, determinar las necesidades de capacitación, así como medir la efectividad de las políticas y procedimientos aplicados (Samuels, 1994). Sin embargo, no obstante las restricciones del medio bajo las cuales se desarrolló el método y por las cuales debió enfocarse a los niveles más bajos de la organización, representa un punto de partida para el desarrollo de estándares de construcción en este contexto. De esta manera, se pueden sentar las bases para el desarrollo de sistemas de calidad y productividad que logren mejorar la eficiencia de los recursos invertidos en el ámbito de la construcción de viviendas de interés social.

5. REFERENCIAS

- BURATI, JR. J.L., FARRINGTON, J. y LEDBETTER W.B. (1992), *Causes of Quality Deviations in Design and Construction*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol 118, No. 1, pp. 34-49.
- CORONA, G.A. (1999), *Cambio de Método y de control de Materiales en la Construcción en Serie de Viviendas de Interés Social y su Impacto en la Calidad*, Tesis inédita de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México.



- CHANG, L. y HSIE, M. (1995), *Developing Acceptance - Sampling Methods for Quality Construction*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 121, No. 2, pp. 246-253.
- DEMING, W.E. (1986), *Out of the Crisis*, MIT Center for Advanced Engineering Study, Cambridge.
- GRANT, E. y LEAVENWORTH, R. (1984), *Control Estadístico de Calidad*, 7ª edición, CECOSA, México.
- GUZMÁN, M. (1998), *Criterios para el diseño de sistemas de calidad en empresas que intervienen en la construcción de viviendas para el INFONAVIT*, tesis inédita de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.
- HAYDEN, JR. W.M. (1996), *Connecting Random Acts of Quality: Global System Standard*, Journal of Management in Engineering, (New York), Vol. 12, No. 3, pp. 34-44.
- INFONAVIT (2001), *Vivienda social, necesidad inaplazable y palanca para el desarrollo*, documento recuperado del sitio web del Infonavit, México. <http://148.243.238.171/data/navega.htm>
- SAMUELS, A. (1994), *Construction Facilities Audit: Quality System - Performance Control*, Journal of Management in Engineering, (New York), Vol. 10, No. 4, pp. 60-65.
- STEVENS, J.D., GLAGOLA, C. y LEDBETTER, W.B. (1994), *Quality - Measurement Matrix*, Journal of Management in Engineering, Vol 10, No. 6, pp. 30-35.
- WEED, M.R. (1989), *Statistical Specification Development*, 2ª ed., New Jersey DOT, Trenton, N.J.
- WONG, A. y FUNG, P. (1999), *Total Quality Management in the Construction Industry in Hong Kong: A Supply Chain Management Perspective*, Total Quality Management, Vol. 10, No. 2, p. 199, tomado del sitio de internet Infotrac: <http://web2.infotrac.apla.galegroup.com>
- YATES, J.K. y ANIFTOS, S. (1997), *Engineering and Construction Industry Standards Developers*, Journal of Management in Engineering, (New York), Vol. 13, No. 3, pp. 31-39.



Gilberto Corona

Ingeniero Civil, M.Sc.
Profesor Investigador del Grupo Académico de Construcción,
Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán
México

Civil Engineer, M.Sc.
Research Professor at the Construction Academic Group
College of Engineering, Universidad Autónoma de Yucatán
Mexico
csuarez@tunku.uady.mx

Carlos Arcudia

Ingeniero Químico Industrial, M.Sc.
Profesor Investigador del Grupo Académico de Construcción,
Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán
México

Industrial Chemist Engineer, M.Sc.
Research Professor at the Construction Academic Group
College of Engineering, Universidad Autónoma de Yucatán
Mexico
aabad@tunku.uady.mx

José Loría

Ingeniero Civil, M.Sc.
Profesor del Grupo Académico de Construcción
Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán
México

Civil Engineer, M.Sc.
Professor at the Construction Academic Group
College of Engineering, Universidad Autónoma de Yucatán
México
larcila@tunku.uady.mx

