

---

**Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial**  
**Departamento de Ingeniería Industrial**  
**Disciplina Gestión e Ingeniería de la Calidad**



**Trabajo de Diploma para optar por el grado académico de Ingeniero Industrial**

**Tema:** Contribución al análisis multivariado de la Calidad en el control estadístico de los procesos de construcción civil. Aplicación a la brigada cuentapropista “Construcciones El Progreso”.

**Autora:** Jessica Echemendia Gómez

**Tutor:** Dr.C. Ing. Carlos Machado Oses

**Curso: 2015-2016**

## DEDICATORIA

*A mis padres por hacer de mi la persona que soy hoy, por estar a mi lado en cada momento y brindarme su apoyo incondicional.*

## AGRADECIMIENTOS

*A mi familia, TODA, por estar siempre a mi lado y por esas horas de compañía tanto en la realización de la tesis como en mis estudios. A mis amigos por regalarme todos esos momentos que nunca olvidaré. A mi tutor por brindarme su apoyo, paciencia y conocimientos. A todos, muchas gracias*

## RESUMEN

El siguiente trabajo fue desarrollado en la brigada de construcción "Construcciones el Progreso" perteneciente a la provincia de Sancti Spíritus, la cual está capacitada para ofrecer servicios de construcción, reparación y mantenimiento de inmuebles, así como, construcción y reparación de sistemas de tratamientos de residuales y actividades de movimientos de tierra. La necesidad de concebir a las entidades como un concepto de nuevo tipo es lo que fundamentó esta investigación, que persigue evaluar la estabilidad y el control estadístico de los procesos sobre la base de un enfoque multivariado facilitando la toma de decisiones que garanticen además de su control una atención integral de los mismos.

Esta investigación parte del diagnóstico de los procesos a analizar desde el punto de vista de su influencia en la calidad del producto final. Luego de llevar a cabo varios estudios empleando para ello técnicas de revisión bibliográfica, observación directa, métodos de trabajo con expertos, análisis de datos y demás, quedó seleccionado el proceso de encofrado y sus parámetros a medir.

Como principal resultado se obtienen cambios en el comportamiento antes y después para el caso de las medidas transversal y lineal, y de rectitud en el conjunto de Gráficos Multivariados de Promedios Móviles Exponencialmente Ponderados (MEWMA) denotando que existe una estabilidad estadística en el proceso, independientemente de las variaciones en la medida del encofrado después de reajustes por colocación del acero, existiendo un predominio hacia el aumento en los últimos puntos a acercarse al límite superior.

## ABSTRACT

The following work was developed in the construction brigade "Buildings Progress Belonging" to the province of Sancti Spiritus, which is able to offer services of construction, repair and maintenance of buildings, as well as building and repairing treatment systems waste and earthworks activities. The need to conceive of institutions as a concept of a new type is what substantiate this research, which aims to assess the stability and statistical process control based on a multivariate approach facilitating decision making to ensure well control comprehensive care of them.

This research part of the diagnostic process to analyze from the point of view of their influence on the quality of the final product. After conducting several studies by employing techniques of literature review, direct observation, experts working methods, data analysis and so on, he was selected shuttering process and its parameters to be measured.

The main result changes are obtained in behavior before and after the case of the transverse and linear measures and straightness in the set Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) denoting that there is a statistical process stability, regardless of variations in the extent of the formwork after adjustments by placing the steel, there is a predominance towards increasing in the last points to approach the upper limit.

## Índice general

Índice general .....	VI
Índice de abreviaturas y acrónimos .....	VIII
Índice de símbolos .....	IX
Índice de figuras .....	X
Índice de Tablas y Cuadros .....	XI
Introducción.....	1
1 Revisión bibliográfica sobre análisis multivariado en procesos de construcción, reparación y mantenimiento de inmuebles .....	5
1.1 Introducción.....	5
1.2 Calidad, conceptos y generalidades.....	6
1.3 Evolución de la Calidad .....	8
1.3.1 Primera etapa. Desde la revolución industrial hasta 1930 .....	8
1.3.2 Segunda etapa. Desde 1930 hasta 1949 .....	8
1.3.3 Tercera etapa. Desde 1950 hasta 1979.....	9
1.3.4 Cuarta etapa. Desde la década del 80 hasta la del 90.....	10
1.3.5 Quinta etapa. Desde 1990 hasta la fecha.....	10
1.4 Gestión de la calidad .....	11
1.4.1 Principios para la Gestión la Calidad .....	12
1.5 Herramientas para el mejoramiento de la calidad .....	14
1.6 Análisis de Datos Multivariados .....	16
1.6.1 Gráficos de Control univariados de procesos .....	17
1.6.2 Gráficos de control multivariado de procesos.....	21
1.7 Conclusiones Parciales .....	25
2 Diagnóstico de los procesos de construcción en la brigada "Construcciones El Progreso" .....	26
2.1 Introducción.....	26
2.2 Caracterización general de la entidad objeto de estudio .....	27
2.2.1 Principales servicios que brinda a los clientes .....	28
2.3 Tipos de obras de Arquitectura o Edificaciones en la Construcción Civil.....	29
2.3.1 Procesos o etapas en las obras de Arquitectura o Edificaciones en la Construcción Civil .....	30
2.4 Cargas y demandas por grupos de actividades. Principales clientes de la brigada. ....	33
2.5 Principales herramientas empleadas. Herramientas de uso general en la construcción y herramientas de medición. ....	34
2.5.1 Principales aspectos para la confección de las mezclas para hormigones y morteros .....	34
2.5.2 Actividades que requieren exactitud en las mediciones, trazado, replanteo y colocaciones. ....	36

2.6	Aspectos generales que describen la calidad de las actividades de construcción civil en la brigada. ....	37
2.6.1	Clasificación de las principales procesos en cada una de las actividades considerando la opinión de los miembros de la brigada. ....	39
2.6.2	Clasificación de las principales fallas y defectos en cada una de las actividades desde el punto de vista del cliente. ....	43
2.7	Conclusiones parciales .....	47
3	Aplicación del análisis multivariado en el control estadístico de los procesos .....	48
3.1	Introducción.....	48
3.2	Proceso de encofrado en la construcción civil por la brigada. Parámetros que definen la calidad.....	48
3.2.1	Valoraciones univariadas de los parámetros de calidad en el encofrado.....	54
3.2.1.1	Dimensiones transversales y lineales.....	55
3.2.1.2	Dimensiones de rectitud.....	60
3.3	Valoraciones multivariadas de los parámetros de calidad en el encofrado .....	64
3.3.1.1	Gráficos multivariados dentro de la dimensión transversal y de la de rectitud en los momentos antes y después de colocar jaulas de acero.....	64
3.3.1.2	Gráficos multivariados entre la dimensión transversal y de rectitud en los momentos antes y después de colocar jaulas de acero.....	66
3.4	Conclusiones parciales .....	68
	Conclusiones.....	69
	Recomendaciones .....	70
	Bibliografía.....	1
	Lista de Anexos .....	6

## Índice de abreviaturas y acrónimos

SGC	Sistema de Gestión de la Calidad
ISO	Organismo Internacional de Normalización (Internacional Standard Organization).
NC	Norma Cubana
SPC	Control Estadístico de Procesos
EPC	Ingeniería de Control de Procesos
GC	Gráficos de Control
MCUSUM	Gráfico Multivariado de Sumas Acumuladas
MEWMA	Gráfico Multivariado de Promedios Móviles Exponencialmente Ponderados
LCS	Límite de control superior
LCI	Límite de control inferior
LC	Límite de control
PCDA	Planificar, Desarrollar, Controlar y Actuar
RC	Resoluciones de la Construcción
TCP	Trabajadores por Cuenta Propia
OTN	Oficina Nacional de Normalización
MINSAP	Ministerio de Salud Pública
MINTUR	Ministerio del Turismo
OBE	Organización Básica Eléctrica
MINAGRI	Ministerio de la Agricultura y Riego

## Índice de símbolos

$\sigma$	Desviación Standard o un estimador (S o $\bar{R} / d_2$ )
Cp	Capacidad de los procesos
Cpk	Índice de capacidad real continuo
$\chi^2$	Valor de Chi-cuadrado calculado
S	Suma de los errores
X	Media
$\lambda$	Desviación

## Índice de figuras

Figura 1.1: Estrategia para la construcción de la revisión bibliográfica como sustento de la investigación. ....	5
Figura 1.2: Gráfico de control con límites de control y advertencia .....	18
Figura 1.3: Resumen de los diferentes tipos de gráficos de control. ....	20
Figura 1.4: GC-MEWMA y efectos de los diferentes valores del parámetro $\rho$ .....	24
Figura: 2.1: Hilo conductor del Capítulo II. ....	26
Figura 2.2: Grupo de trabajo de la brigada en actividades de preparación de hormigón y morteros. ....	35
Figura 2.3: Grupo de trabajo en actividades de replanteo y encofrado. ....	36
Figura: 3.1: Encofrado horizontal de vigas de cimentación en una obra. Situación de las medidas a tomar. ....	56
Figura 3.2: Forma de establecer las medidas de dimensiones transversales en el encofrado. ....	56
Figura 3.3: Gráfica de valores individuales e histograma para valores de dimensiones transversales de encofrados .....	58
Figura 3.4: Histograma de frecuencias e índices de capacidad de las dimensiones transversales de encofrados. ....	58
Figura 3.5: Gráfica de valores individuales e histograma para valores de dimensiones transversales de encofrados .....	60
Figura 3.6: Histograma de frecuencias e índices de capacidad de las dimensiones transversales de encofrados. ....	60
Figura: 3.7: Encofrado horizontal de vigas de cimentación en una obra. Medidas de rectitud. ....	61
Figura: 3.8: Gráfico de valores individuales para Rectitud antes de colocar acero.....	62
Figura: 3.9: Gráfico de valores individuales para Rectitud después de colocar acero. ...	63
Figura: 3.10: Análisis de Capacidad para Rectitud antes de colocar acero. ....	63
Figura: 3.11: Análisis de Capacidad para Rectitud después de colocar acero. ....	64
Figura: 3.12: Gráfico de control MEWMA para medida transversal antes-después de colocar acero. ....	65
Figura: 3.13: Gráfico de control MEWMA para medida rectitud antes-después de colocar acero. ....	65
Figura: 3.14: Gráfico de control MEWMA Transversal-Rectitud antes de colocar acero.....	66
Figura: 3.15: Gráfico de control MEWMA Transversal-Rectitud después de colocar acero.....	66

## Índice de Tablas y Cuadros

Tabla 2.1: Principales clientes y demandas de trabajo. ....	33
Tabla 2.3: Lista de miembros de la brigada para la selección de los procesos. ....	39
Tabla 2.4: Escalas para definir importancia de las operaciones. ....	40
Tabla 2.2: Documentos de trabajo, herramientas , puntos de control y los principales procesos .....	40
Tabla 2.5: Resultado de los rangos otorgados a las operaciones según operarios de la brigada. ....	41
Tabla 2.6: Fiabilidad de la escala y Prueba W de Kendall .....	42
Tabla 2.7: Principales procesos y requisitos de calidad. ....	43
Tabla 2.8: Lista de los principales clientes de la brigada para la selección de los procesos. ....	44
Tabla 2.9: Resultado de los rangos otorgados a las operaciones según los clientes.....	45
Tabla 2.10: Fiabilidad de la escala y Prueba W de Kendall .....	46
Tabla 3.1: Valores de las mediciones transversales de los encofrados en dos obras antes de colocar el acero. ....	57
Tabla 3.2: Valores de las mediciones transversales de los encofrados en dos obras después de colocar el acero.....	59
Tabla 3.3: Valores de las mediciones de rectitud de los encofrados en dos obras antes y después de colocar el acero.....	61

## **Introducción**

El funcionamiento y desarrollo de la economía mundial ha sufrido importantes transformaciones en los últimos años. El acelerado desarrollo de la ciencia y la técnica y la tendencia a la concentración y especialización de la producción, aumentan los requisitos exigidos a la organización de la producción, a la vez que acrecientan su importancia para el logro de la elevación de la eficiencia. En la actualidad varios autores coinciden en reconocer la necesidad de mejorar la calidad de los productos y servicios para poder ser competitivos y permanecer en el mercado.

La calidad, y en específico la estabilidad estadística de los procesos en la cadena de suministro y/o la producción o prestación de los servicios implica a todo el proceso de planificación, ejecución y el control de las operaciones en el mismo. Lo cuál no es sólo característico del proceso de pedido y recepción al proveedor, sino también del proceso productivo y de las entregas realizadas a los clientes de una forma confiable y oportuna.

Cuba inmersa en este escenario, se encuentra en un proceso de recuperación económica, que avanza cada año hacia la estabilidad y el mejoramiento en la gestión empresarial de sus organizaciones. En este sentido ha sido decisiva la actualización del modelo económico con la implementación de las medidas asociadas al Proyecto de Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, presentados en los marcos del VI Congreso del Partido Comunista de Cuba; la que hace énfasis en nuevas formas de producción, que ayuden a elevar los niveles en la calidad de sus productos o servicios. A lo anterior se relacionan los lineamientos número 7 y 10, del capítulo 1 vinculados con el modelo de gestión económica.[1]

## **Situación problemática**

Como resultado del desarrollo de esta política se aprecia un avance significativo en la incorporación de personal al sector no estatal, conocido también como trabajadores por cuenta propia que desean emprender negocios sustentables con el objetivo de mejorar su nivel de vida ayudando al desarrollo del país, al crear nuevas fuentes de empleo y productos de aceptación dentro de la población. Para cumplir este propósito es necesario tener conciencia de la importancia de analizar constantemente el estado de control y estabilidad de los procesos de fabricación, lo que convierte a los estudios multivariados (estadística multivariada) en una herramienta muy útil para el desempeño exitoso de las empresas, siendo además una gran deuda a llenar por las industrias del país.

Tanto en este sector, como en el estatal se puede constatar la no utilización en la medida necesaria de técnicas estadísticas que permitan este análisis, basando sus decisiones en el uso de técnicas empíricas que se apoyan en los conocimientos de los implicados.

En este sentido la brigada “Constucciones El Progreso“ fundada en el año 2015 por Mérido Manuel Echemendia García (Arquitecto de profesión), que ofrece servicios de construcción, reparación y mantenimiento de inmuebles se enfoca en el aumento de la calidad de sus procesos a lo largo de toda la cadena de suministro; a través de un control que permita estabilizar y predecir los posibles escenarios en el tiempo, evaluando solamente un parámetro o variable en el análisis de los procesos de fabricación por lo que presentan vacíos en la toma de decisiones debido a la incertidumbre que se tiene al no contemplar un enfoque integrador. Todo lo anterior constituye la situación problemática de la presente investigación, hecho que confirma la pertinencia y el valor de este estudio.

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea como **problema de la investigación** la ausencia de un enfoque multivariado en los procesos de la brigada "Construcciones El Progreso" que afecta la calidad de sus servicios provocado por un aumento de la incertidumbre en la toma de decisiones.

No se establece una hipótesis a demostrar, ya que es una investigación de aporte metodológico y de la práctica industrial, que en todo caso solo abordan temáticas descriptivas y exploratorias iniciales.

Los elementos expuestos contribuyen a definir el objetivo general y los específicos correspondientes según se describe a continuación.

### **Objetivo General**

Analizar la calidad de los procesos de fabricación en la brigada “Construcciones El Progreso“, sobre la base de enfoque multivariado con los métodos de evaluación de control y estabilidad estadística.

### **Objetivos Específicos**

1. Seleccionar las herramientas adecuadas para el análisis de la estabilidad y el control estadístico en procesos de construcción, reparación y mantenimiento de inmuebles, a partir de una revisión bibliográfica que contemple las tendencias actuales tanto internacional como nacional sobre la temática de los análisis multivariados en la calidad, como soporte teórico para la investigación.

2. Definir desde dentro de la cadena logística de suministro y fabricación en los procesos de construcción civil de la brigada “Construcciones El Progreso“, y desde el punto de vista del cliente, los procesos a analizar, sus factores y las variables a considerar.
3. Determinar la estabilidad y el control estadístico de los procesos con los métodos multivariados adecuados.

En el transcurso de la investigación se utilizan diversidad de **métodos teóricos y empíricos** integrados a las diferentes etapas de trabajo. Los métodos teóricos están relacionados con el análisis y síntesis de información obtenida en la literatura y consulta a expertos; el inductivo-deductivo fue aplicado en la asimilación teórica de la realidad, la deducción en la busca de datos que corroboran la situación actual y a través de la inducción se identifican oportunidades de mejoras partiendo de lo particular a lo general; el histórico-lógico permitió estudiar antecedentes de los problemas actuales con el fin de encontrar tendencias y regularidades que faciliten la comprensión y por último se aplicó un análisis de control multivariado. En cuanto a los métodos empíricos utilizados se encuentran entrevistas, análisis de documentos, análisis comparativos, observación y criterio de expertos. En el procesamiento computacional de los datos se utilizaron los softwares: IBM-SPSS 23.0, Matchad, R-Project, Minitab.

La investigación que se proyecta posee un valor teórico, metodológico y práctico. El **valor teórico** radica en la elaboración del marco teórico referencial, resultado de la consulta de la literatura nacional e internacional actualizada, referente a la necesidad de vincular los enfoques de mejoramiento continuo al área de la calidad empresarial. El **valor metodológico** se manifiesta en las bondades mostradas por el enfoque multivariado, capaz de evaluar el desempeño real de la gestión de la calidad, permitiendo detectar los problemas existentes y las oportunidades de mejora, para elevar el desempeño de la organización. De igual forma la estandarización y documentación de los procesos regidos por el control estadístico multivariado, servirá de guía a otras direcciones territoriales en el país.

El **valor práctico** está dado por la posibilidad de lograr una integración de conceptos, técnicas y herramientas que permitan perfeccionar la gestión de los procesos en la brigada de construcción por cuenta propia para de esta forma alcanzar los niveles de excelencia que impone el entorno, que puedan servir de referencia a otras empresas del sector con características similares.

Para su presentación, este trabajo de diploma se estructura en tres capítulos. En el **capítulo I** se efectúa una revisión bibliográfica para la construcción del marco teórico

referencial que sustenta la investigación. Los dos capítulos restantes debido a que el instrumental es aplicado en la brigada objeto de estudio se distribuyen de la manera siguiente: se ha destinado el **capítulo II** a la descripción de la cadena logística y de fabricación en la empresa objeto de estudio, donde se hace una caracterización de la cadena de suministro junto a su estructura y componentes para determinar cuáles son los principales procesos y factores que se analizarán, y en el **capítulo III** se realiza un análisis multivariado de los procesos desde el punto de vista de la estabilidad y control mediante la aplicación de las herramientas estadísticas seleccionadas. Además se incluyen las conclusiones generales y recomendaciones derivadas de la investigación, la bibliografía y finalmente un grupo de anexos de necesaria inclusión, como complemento a los resultados expuestos.

El alcance al cual se prevé llegar es evaluar la estabilidad y el control estadístico de los procesos seleccionados, los cuáles son considerados claves por ser los que más aportan económicamente o de mayor importancia teniendo en cuenta todas las estructuras y componentes.

No se dejará de mencionar que dentro de las limitantes del estudio está la escasa información que se tiene de los procesos y de alguno de los factores o variables incidentes, y el hecho de que no se abarcarán otros procesos por la limitación del tiempo, no obstante las conclusiones a las que se lleguen son válidas para estudios posteriores y aplicaciones sistemáticas de este tipo de enfoque.

# 1 Revisión bibliográfica sobre análisis multivariado en procesos de construcción, reparación y mantenimiento de inmuebles

## 1.1 Introducción

El presente capítulo persigue como objetivo principal ofrecer los temas teóricos acerca de la gestión de la calidad, haciendo énfasis en el análisis multivariado de la calidad, el control y la estabilidad de los procesos. Se consulta en el desarrollo de esta etapa información actualizada de diversos autores, con el fin de conocer y registrar sus criterios desde las posiciones disímiles que se han abordado en la temática objeto de estudio. Esto permite sustentar desde el punto de vista teórico metodológico, las bases para aplicar e interpretar los resultados de la investigación.

En este sentido se consultó literatura especializada y actualizada tanto nacional como internacional acorde al análisis lógico-secuencial planificado en la construcción del soporte teórico, cuyo hilo conductor se muestra en la figura 1.1

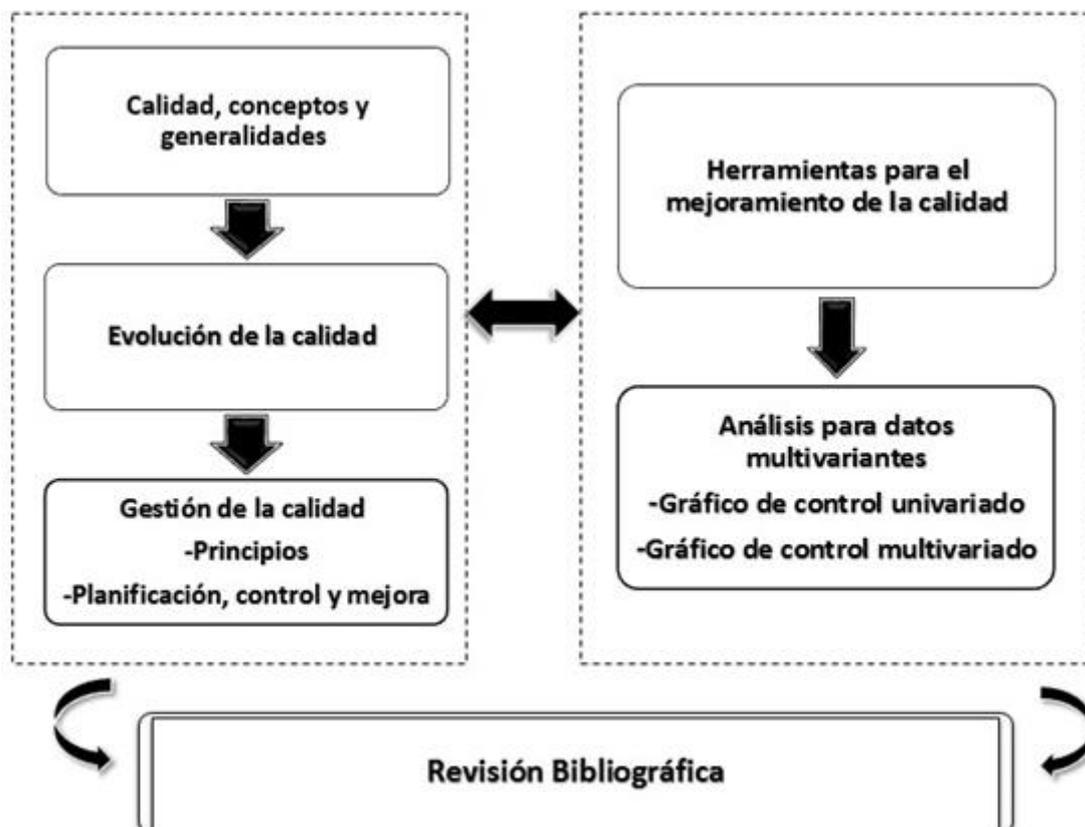


Figura 1.1: Estrategia para la construcción de la revisión bibliográfica como sustento de la investigación.

La secuencia diseñada para la elaboración de esta etapa considera un análisis desde lo general a lo particular de la temática, tomando como elemento base los conceptos asociados a la calidad dados por los principales autores, que sirven como punto de partida al estudio.

## **1.2 Calidad, conceptos y generalidades**

La calidad ha sido abordada por diferentes autores a través del tiempo, analizando sus diferentes dimensiones. Entre los conceptos más representativos se pueden apreciar los planteados por los maestros de la calidad en la búsqueda de cómo éste término debe ser aplicado en cada organización.

En el caso de J. M. Juran en la evolución de sus estudios realiza diferentes definiciones asociadas al término de la calidad, así en 1974 plantea que: es la "aptitud para el uso o propósito". En 1993 al avanzar en sus análisis plantea que se debe construir una organización que trabaje enfocada hacia la calidad, considerándola como un conjunto de características que satisfacen las necesidades de los clientes, lo cuál consiste en no tener deficiencias. Finalmente determina que es la adecuación para el uso satisfaciendo las necesidades del cliente.[2]

Mientras que Feigenbaum 1971 plantea que la calidad es "la resultante de una combinación de características de ingeniería y de fabricación determinantes del grado de satisfacción que el producto proporcione al consumidor durante su uso", más tarde en 1997 plantea que es "un sistema eficaz para integrar los esfuerzos de mejora de la gestión de los distintos grupos de la organización, para proporcionar productos y servicios a niveles que permitan la satisfacción del cliente". En esta definición considera como clientes a los distintos colectivos interesados en las actividades de la empresa.[3], [4], [5]

Pocos años después Crosby 1979 define como calidad "conformidad a los requerimientos", y añade que sólo puede ser medida por el costo de la no conformidad. Esta definición está limitada ya que depende de los requerimientos que se hayan considerado, si son los de los clientes o los de los productores, por lo que este autor en 1994 puntualiza que es "entregar a los clientes y a nuestros compañeros de trabajo productos y servicios sin defectos y hacerlo a tiempo". En este caso, considera dos tipos

de clientes los internos y externos e involucra en la definición su filosofía de producir con cero defectos.[6], [7]

Ishikawa en 1988 manifiesta que "calidad es aquella que cumple los requisitos de los consumidores" e incluye el costo entre éstos requisitos. La calidad empieza y termina por la capacitación, revela lo mejor de cada empleado, planteando a su vez que el control de la calidad que no muestra resultados no es control.[8]

Por su parte, Deming en 1989 la define como "un predecible grado de uniformidad, a bajo costo y útil para el mercado". Este concepto trata de cerrar las tolerancias de los procesos buscando una mayor uniformidad del proceso.[9]

A pesar de los diferentes puntos de vista que ofrecen los gurúes analizados sobre este término, todos de una forma u otra coinciden que calidad es cumplir con los requerimientos o expectativas de los clientes tanto internos como externos teniendo en cuenta diferentes enfoques relativos a ésta.

La Norma NC-ISO 9000:2005 plantea, y se cita textualmente: "es el Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos". Y añade dos notas, para aclarar que el término calidad puede utilizarse acompañado de adjetivos tales como: pobre, buena o excelente y contrapone "inherente" a "asignado", significando que existe en algo, especialmente como una característica permanente. En este caso la calidad depende de los requisitos que se planteen por los productores y si es cierto que los mismos satisfacen las necesidades de los clientes.[10]

Concepto con el cual coinciden varios autores y se toma como referencia para la investigación actual.

La NC-ISO 9001:2015, específica que todos los requisitos de calidad deben estar orientados principalmente a dar confianza en los productos y servicios proporcionados por una organización y por lo tanto a aumentar la satisfacción del cliente.[11]

Cada una de las fuentes consultadas coinciden de forma universal con las definiciones que han aportado en que la calidad es un conjunto de características que debe presentar un producto o servicio y que responden a las necesidades de los clientes de forma tal que

la organización que brinde ese servicio o producto trabaje en función de obtener esas características o requerimientos como premisa fundamental para el éxito de su misión.

Queda demostrado que la calidad está referida a un momento específico, lo que ayer fue considerado de alta calidad, hoy pudiera variar. Por lo que se torna de vital importancia que las organizaciones consideren la calidad como un factor estratégico que se debe trabajar con un enfoque proactivo hacia la mejora de su desempeño.

### **1.3 Evolución de la Calidad**

La calidad al ser abordada desde cualquier ángulo implica siempre serios compromisos que ineludiblemente obligan a referirse a los llamados maestros de la calidad. Se hace necesario la realización de una síntesis de la evolución de la misma desde la revolución industrial hasta la actualidad, con la finalidad de contribuir a una interpretación más coherente de la misma, al entender que ésta no es un tema estático, sino dinámico y que la sociedad en su decursar histórico la ha ido adaptando a sus propias necesidades y objetivos de desarrollo.[12]

#### **1.3.1 Primera etapa. Desde la revolución industrial hasta 1930**

La Revolución Industrial, desde el punto de vista productivo, representó la transformación del trabajo manual por el trabajo mecanizado. Antes de esta etapa el trabajo era prácticamente artesanal y se caracterizaba en que el trabajador tenía la responsabilidad sobre la producción completa de un producto.

En los principios de 1900 surge el supervisor, que muchas veces era el mismo propietario, el cual asumía la responsabilidad por la calidad del trabajo. Durante la Primera Guerra Mundial, los sistemas de fabricación se hicieron más complicados y como resultado de esto aparecen los primeros inspectores de calidad a tiempo completo, esto condujo a la creación de las áreas organizativas de inspección separadas de las de producción. [12]

Esta época se caracterizaba por la inspección, y el interés principal era la detección de los productos defectuosos para separarlos de los aptos para la venta.

#### **1.3.2 Segunda etapa. Desde 1930 hasta 1949**

Los aportes que la tecnología hacía a la economía de los países capitalistas desarrollados eran de un valor indiscutible. Sin embargo, se confrontaban serios problemas con la

productividad del trabajo. Este estado permaneció más o menos similar hasta la Segunda Guerra Mundial, donde las necesidades de la enorme producción en masa requirieron del control estadístico de la calidad. La contribución de más significación del control estadístico de la calidad fue la introducción de la inspección por muestreo, en lugar de la inspección al cien por ciento.

El interés principal de esta época se caracteriza por el control que garantice no sólo conocer y seleccionar los desperfectos o fallas de productos, sino también la toma de acción correctiva sobre los procesos tecnológicos. Los inspectores de calidad continuaban siendo un factor clave del resultado de la empresa, pero ahora no sólo tenían la responsabilidad de la inspección del producto final, sino que estaban distribuidos a lo largo de todo el proceso productivo. Se podría decir que en esta época “la orientación y enfoque de la calidad pasó de la calidad que se inspecciona a la calidad que se controla” [13]

### **1.3.3 Tercera etapa. Desde 1950 hasta 1979**

Esta etapa, corresponde con el período posterior a la Segunda Guerra Mundial y la calidad se inicia al igual que en las anteriores con la idea de hacer hincapié en la inspección, tratando de no sacar a la venta productos defectuosos.

Poco tiempo después, se dan cuenta de que el problema de los productos defectuosos radicaba en las diferentes fases del proceso y que no bastaba con la inspección estricta para eliminarlos. Es por esta razón que se pasa de la inspección al control de todos los factores del proceso, abarcando desde la identificación inicial hasta la satisfacción final de todos los requisitos y las expectativas del consumidor. Durante esta etapa se consideró que éste era el enfoque correcto y el interés principal consistió en la coordinación de todas las áreas organizativas en función del objetivo final: la calidad. [12]

A pesar de esto, predominaba el sentimiento de vender lo que se producía. Las etapas anteriores “estaban centradas en el incremento de la producción a fin de vender más, aquí se pasa a producir con mayor calidad a fin de poder vender lo mejor, considerando las necesidades del consumidor y produciendo en función del mercado”. Comienzan a aparecer Programas y se desarrollan Sistemas de Calidad para las áreas de calidad de las empresas, donde además de la medición, se incorpora la planeación de la calidad, considerándose su orientación y enfoque como la calidad se construye desde adentro. [14]

#### **1.3.4 Cuarta etapa. Desde la década del 80 hasta la del 90**

La característica fundamental está en la Dirección Estratégica de la Calidad, por lo que el logro de la calidad en toda la empresa no es producto de un programa o sistema de calidad, sino que es la elaboración de una estrategia encaminada al perfeccionamiento continuo de ésta, en toda la empresa.

El énfasis principal de esta etapa no es sólo el mercado de manera general, sino el conocimiento de las necesidades y expectativas de los clientes, para construir una organización empresarial que las satisfaga. La responsabilidad de la calidad es en primer lugar de la alta dirección, la cual debe liderarla y deben participar todos los miembros de la organización. [12]

En esta etapa, la calidad era vista como “una oportunidad competitiva, la orientación o enfoque se concibe como la calidad se administra”

#### **1.3.5 Quinta etapa. Desde 1990 hasta la fecha**

La característica fundamental de esta etapa es que pierde sentido la antigua distinción entre producto y servicio. Lo que existe es el valor total para el cliente. Esta etapa se conoce como Servicio de Calidad Total.

La calidad total es el estadio más evolucionado dentro de las sucesivas transformaciones que ha sufrido el término calidad a lo largo del tiempo. El que consiste en un Sistema de gestión empresarial íntimamente relacionado con el concepto de mejora continua. Para dirigir y operar una organización con éxito es necesario gestionarla de manera sistemática y visible. [14]

El cliente de los años 90 sólo está dispuesto a pagar por lo que significa valor para él. Es por eso que la calidad es apreciada por el cliente desde dos puntos de vista, calidad perceptible y calidad factual. La primera es la clave para que la gente compre, mientras que la segunda es la responsable de lograr la lealtad del cliente con la marca y con la organización. Un servicio de calidad total es un enfoque organizacional global, que hace de la calidad de los servicios, según la percibe el cliente, la principal fuerza propulsora del funcionamiento de la empresa. [14], [13]

Hasta aquí la síntesis de la evolución histórica de la calidad, en la cual se muestra con un enfoque cronológico, desde su concepción inicial de inspección hasta los más actuales vinculados a la gestión de la calidad y la filosofía de la Calidad Total.

#### **1.4 Gestión de la calidad**

La calidad se obtiene con la utilización de los recursos y procedimientos adecuados, es decir, a través de la gestión, que no es más que su correcta planificación, control, aseguramiento y mejora.[10]

La gestión de la calidad se lleva a cabo mediante un sistema, es decir, utilizando un conjunto de elementos relacionados que actúan entre sí. Las empresas deben aportar los recursos necesarios para que la política de calidad sea viable y documentar el sistema en un manual de la calidad.[15]

Para el logro de la gestión total de la calidad existen diferentes herramientas asociadas a cada una de las etapas de la trílogía de Juran (planificación, control y mejora continua) que tiene como ejes el tiempo y el costo de la mala calidad. Antes de la etapa operativa, la planificación de la calidad, se establecen niveles porcentuales aceptables de defectos en la producción, siguiendo la tradición del control estadístico de procesos. El objetivo de la trílogía es desarrollar productos y procesos que cumplan con los requerimientos de los clientes. Se determina, en primer lugar, quién es el cliente y qué necesita, a fin de planificar productos adecuados y desarrollar los procesos de fabricación. Los planes resultantes se convierten en planes operativos. En esta etapa se consideran aspectos del costo de la calidad.[16]

Con el cumplimiento de los principios de gestión de la calidad se obtiene un Sistema de Gestión empresarial que está íntimamente relacionado con la mejora continua de todos sus procesos, alcanzando un lugar elevado, donde las sucesivas transformaciones se dirijan a la obtención de la calidad total. Se pueden representar como el marco de referencia a seguir por la dirección de cada organización, orientándola hacia la consecución de la mejora del desempeño de su actividad.

### 1.4.1 Principios para la Gestión la Calidad

Los principios de gestión de la calidad son aquellos que toda organización ha de seguir para obtener los beneficios esperados. De nada sirve que una organización implante un sistema de gestión de la calidad que cumpla con los requerimientos detallados en las normas, si no aplica estos principios. Los mismos aparecen recogidos y definidos en la norma ISO 9001:2015 como una adecuación de los ocho principios de gestión de la calidad introducidos por la norma ISO 9000:2000. [10]

Se muestra una explicación de la importancia para la organización de los mismos, los beneficios asociados a su aplicación y las posibles acciones a desarrollar para aplicar cada principio en concreto y mejorar el desempeño de la organización.

- Enfoque al cliente: “Las organizaciones dependen de sus clientes, y por lo tanto deben comprender las necesidades actuales y futuras de los clientes, satisfacer los requisitos de los clientes y esforzarse en exceder las expectativas de los clientes”. [17]

La empresa debe tener claro que las necesidades de sus clientes no son estáticas, sino dinámicas y cambiantes a lo largo del tiempo, además de ser los clientes cada vez más exigentes y cada vez está más informado. Por ello, la empresa no sólo ha de esforzarse por conocer las necesidades y expectativas de sus clientes, sino que ha de ofrecerles soluciones a través de sus productos y servicios, y gestionarlas e intentar superar esas expectativas día a día.

- Liderazgo: “Los líderes establecen la unidad de propósito y la orientación de la organización. Ellos deberían crear y mantener un ambiente interno en el cual el personal pueda llegar a involucrarse totalmente en el logro de los objetivos de la organización”. [17]

El liderazgo es una cadena que afecta a todos los directivos de una organización, que tienen personal a su cargo. Si se rompe un eslabón de esa cadena, se rompe el liderazgo de la organización.

- Compromiso de las personas: “El personal, a todos los niveles, es la esencia de una organización y su total compromiso posibilita que sus habilidades sean usadas para el beneficio de la organización”. [17]

La motivación del personal es clave, así como una red de comunicación que permita que todos conozcan los objetivos y su participación en la consecución de los mismos, así como un feedback adecuado, donde todos puedan aportar ideas innovadoras y propuestas de mejora. Sin estas dos acciones, difícilmente una organización pueda conseguir el compromiso del personal.

- Enfoque a procesos: “Un resultado deseado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso”. [17]

El cambio reside en la concepción de “organización”. Ha dejado de ser una organización por departamentos o áreas funcionales para ser una organización por procesos orientados para la gestión de la creación de valor para los clientes.

- Mejora: “La mejora continua del desempeño global de una organización debería ser un objetivo permanente de esta”. [17]

Esa mejora continua de los procesos se consigue siguiendo el ciclo PCDA del Doctor E. Deming: Planificar – Desarrollar – Controlar – Actuar, por lo que ayuda a la implementación de mejoras inmediatas, económicas y preventivas, que aseguran no solo la reducción de errores, sino una cultura de cambio y evolución.

- Toma de decisiones basada en la evidencia: “Las decisiones se basan en el análisis de los datos y la información”. [17]

Normalmente tomamos decisiones apresurados, basándonos en la información “del momento”. Incluso sin contar con que esta información es incompleta, debemos sumar la influencia de otros factores.

- Gestión de las relaciones: "La correcta gestión de las relaciones que la organización tiene para con la sociedad, los socios estratégicos y los proveedores contribuyen al éxito sostenido de la organización". [17]

Es necesario conocer, escuchar y fomentar el desarrollo de las partes interesadas, estableciendo alianzas estratégicas con el objetivo de ser más competitivos y mejorar la productividad, la rentabilidad, y la relación con la sociedad.

Por lo tanto es importante conocer y tener en cuenta los principios de gestión de la calidad para saber interpretar adecuadamente los requisitos a cumplir, ya que con una aplicación eficaz de los mismos, se obtendrá el ansiado éxito sostenido en las organizaciones.

### **1.5 Herramientas para el mejoramiento de la calidad**

Existen siete herramientas básicas que han sido ampliamente adoptadas en las actividades de mejora de la Calidad y utilizadas como soporte para el análisis y solución de problemas operativos en los más distintos contextos de una organización.[18]

Estas Herramientas son procedimientos o técnicas escritas y formalizadas que ayudan a las empresas (líderes o no) a medir la calidad de sus servicios y a planificar mejor sus procesos para llevar a cabo una mejora de sus productividad y servicio al cliente.[19]

Las mismas fueron recopiladas en los años sesenta por Kaoru Ishikawa y la experiencia de este autor plantea que su uso permite resolver el 80% de los problemas que se presentan en las organizaciones. A continuación se ofrece una breve reseña de cada una.

- Hoja de control u hoja de recogida de datos: conocida como registro, reúne y clasifica las informaciones mediante la anotación y registro de sus frecuencias bajo la forma de datos. Requiere estudiar e identificar las categorías que caracteriza el fenómeno que se quiere estudiar, se registran indicando la frecuencia de observación. Éstas hojas de recopilación tienen muchas funciones, pero la principal es hacer fácil la recopilación de datos y realizarla de forma que puedan ser usadas fácilmente y analizarlos automáticamente. [18]
- Histogramas de frecuencias: Es una gráfica de barras que permite describir el comportamiento de un conjunto de datos en cuanto a su tendencia central, forma y dispersión. Ofrece una idea objetiva sobre la calidad de un producto, el desempeño de un proceso o el impacto de una acción de mejora. Su correcta utilización permite tomar decisiones con base en la dispersión y formas especiales

de comportamiento de los datos. Su uso cotidiano facilita el entendimiento de la variabilidad y favorece la cultura de los datos y los hechos objetivos. [19]

- Diagrama de Pareto: Es una herramienta que permite localizar el problema principal y ayuda a localizar la causa más importante de este sobre la base del supuesto de la " Ley 80-20" o " Pocos vitales, muchos triviales ", lo que reconoce que un 20 % de las fuentes causan el 80 % de cualquier problema. [19]
- Diagramas de Dispersión: es un tipo de diagrama matemático que utiliza las coordenadas cartesianas para mostrar los valores de dos variables para un conjunto de datos. Los datos se muestran como un conjunto de puntos, cada uno con el valor de una variable que determina la posición en el eje horizontal ( $x$ ) y el valor de la otra variable determinado por la posición en el eje vertical ( $y$ ). [20]
- Gráficos de control: Es una herramienta estadística utilizada para evaluar la estabilidad de un proceso, permite distinguir entre las causas de variación, pudiendo agruparlas en causas aleatorias de variación (causas desconocidas y con poca significación, debidas al azar y presentes en todo proceso de difícil identificación y eliminación); y en las causas específicas, imputables o asignables, (normalmente no deben estar presentes en el proceso porque provocan variaciones significativas; sí pueden ser descubiertas y eliminadas). [18]
- Diagrama causa-efecto: Identifica, clasifica y pone de manifiesto posibles causas, tanto de problemas específicos como de características de calidad. Ilustra gráficamente las relaciones existentes entre un resultado dado (efectos) y los factores (causas) que influyen en ese resultado. Es una herramienta efectiva para estudiar procesos y situaciones, y para desarrollar un plan de recolección de datos. [18]
- Diagramas de flujo: es una representación gráfica de un proceso. Cada paso del proceso es representado por un símbolo diferente que contiene una breve descripción de la etapa del proceso. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están unidos entre sí con flechas que indican la dirección de flujo del proceso. Ofrece una descripción visual de las actividades implicadas en un proceso mostrando la relación secuencial entre ellas, facilitando la rápida comprensión de

cada actividad y su relación con las demás, el flujo de la información y los materiales, las ramas en el proceso, la existencia de bucles repetitivos, el número de pasos del proceso, las operaciones de interdepartamentales. [19]

La realidad es que se puede resolver la mayor parte de problemas de calidad con el uso combinado de éstas herramientas en cualquier proceso industrial. Permiten detectar problemas, delimitar el área problemática, estimar los factores que están provocando el problema, determinar si el efecto tomado como problema es verdadero o no, prevenir errores debido a omisión o rapidez o descuido, confirmar los efectos de mejora y detectar desfases.

En general, existe un gran número de formas de controlar un proceso, detectar fallos, mejorar los sistemas y analizar los riesgos, siendo algunas de ellas de gran complejidad. Sin embargo, algunas de las más conocidas y usadas son los gráficos de control.[20]

## **1.6      *Á*lisis de Datos Multivariados**

Existen muchas situaciones en las que es necesario el control simultáneo de dos o más características relacionadas, que juntas determinan la calidad de un producto, y debido al avance y precisión de la tecnología es necesario controlar el proceso con métodos más precisos para estar en un nivel competitivo de las industrias modernas, motivo por el cuál se dan a conocer éstos análisis multivariados para el control de la calidad.

Este tipo de herramienta es la parte de la estadística y del análisis de datos que estudia, analiza, representa e interpreta los datos que resulten de observar un número de variables estadísticas sobre una muestra de  $(n)$  individuos. Las variables observables son homogéneas y correlacionadas, sin que alguna predomine sobre las demás. La información estadística es de carácter multidimensional, por lo tanto la geometría, el cálculo matricial y las distribuciones multivariadas juegan un papel fundamental. [21]

El control de procesos consta de dos fases, la de desarrollo que ayuda a conocer el comportamiento estadístico del proceso y permite determinar los límites de control para el estimador del parámetro analizado, para esto se tiene que eliminar causas asignables si existiesen; y por otro lado, la fase de madurez, en la cual se mide la capacidad del proceso para cumplir con los estándares de calidad inicialmente propuestos; se identifica el

promedio del número de muestras antes de obtener falsas alarmas; y ayuda a reducir el tiempo o el número de muestras necesarias para detectar pequeños cambios en el proceso.

Para realizar el control de las variables cualitativas pero que no consideran el efecto de dependencia en el tiempo se emplean los gráficos de control univariantes, analizando de forma independiente y por separado cada parámetro a medir. Mientras que para el caso donde se considera el componente de dependencia en el tiempo se utilizan los gráficos de control multivariados, es decir se monitorizan diversas variables relacionadas a la calidad, donde se va acumulando información obtenida de las muestras anteriores y de esta manera detectar de forma más rápida pequeños cambios en el proceso.[21]

Un estudio multivariado lleva consigo el análisis univariado correspondiente de aquellos parámetros más importantes o dominantes en el sistema analizado, para posteriormente evaluar el comportamiento de todas las variables a controlar en los procesos con un enfoque más integrador.

### **1.6.1 Gráficos de Control univariados de procesos**

Los gráficos de control son tanto para los procesos automatizados como para los manuales son un medio eficaz para el control y el mejoramiento de la calidad. La efectividad de los gráficos de control depende en gran medida de la correcta determinación de la variabilidad del proceso y del establecimiento de las fronteras de control. Estas últimas pueden estar referidas tanto al proceso como a las tolerancias, dependiendo ello del análisis de la capacidad del proceso y del establecimiento de nuevos límites económicos en los gráficos de control y son características para cada tipo de gráfico de control.[22],[23],[24],[25]

Los mismos por lo general describen de forma gráfica los cambios en las características de calidad por causas dependientes del tiempo en los procesos bajo estudio, donde en el análisis e intervención o corrección se definen ciertos límites o fronteras, la figura 1.2 es un caso común en la fabricación por máquinas-herramientas donde se emplean gráficos de control univariados para analizar la estabilidad estadística de un solo parámetro.

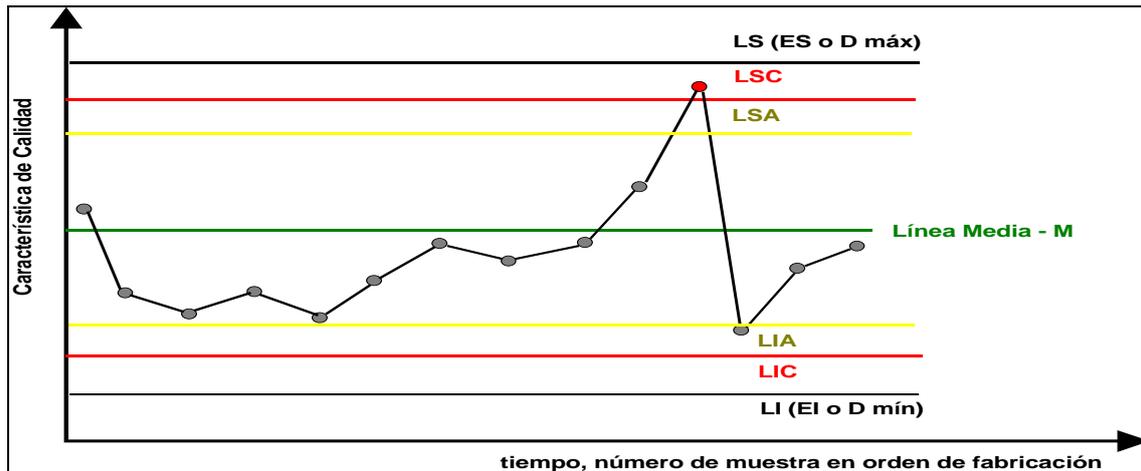


Figura 1.2: Gráfico de control con límites de control y advertencia  
 Fuente: Wisweh, Coello y Machado: “ Statistische Prozesslenkung mit Qualitätsregelkarten”

En la literatura especializada se encuentra actualmente una amplia gama de gráficos de control, cuya selección queda determinada por el tipo de medición que se lleva a cabo, la funcionalidad de los mismos y las posibilidades de obtención y derivación de las fronteras y límites de control.[26], [27], [28], [24]

En la actualidad dentro de los gráficos de control univariado existen los de una vía (clasificados como GC de valores individuales) preponderantes para el análisis de los procesos, mientras que para su control y su variabilidad existen los clasificados como gráficos de control de dos vías, como los conocidos GC combinados y los multivariados. En el área del control por variables se pueden diferenciar principalmente los gráficos de control orientados según la posición del procesos o la variabilidad del proceso. (Ver Fig. 1.3)

A continuación se hace una breve referencia de los gráficos de control de valores individuales, de medias, de medianas, de recorridos y desviaciones típicas.

- GC -  $\bar{X}$  : Se emplean en la práctica prioritariamente para el control estadístico de la tendencia central de los procesos y especialmente en los procesos de manufactura. Consiste en determinar inmediatamente y con seguridad la existencia de distorsiones sistemáticas en el proceso manifestadas en forma de tendencia. De la experiencia práctica en la industria, así como de los cálculos matemáticos de probabilidades, son reconocidos como los más eficientes por

predecir cambios sistemáticos en el proceso así como interrupciones. En la actualidad una obtención y elaboración automatizada de los datos eleva considerablemente las ventajas de este gráfico, de forma tal que como criterio de selección en el centro está la efectividad del gráfico de control.

- GC -  $\bar{X}$  : Son gráficos de control muy sencillos de ejecutar desde el punto de vista matemático, se emplean para visualizar la tendencia central del proceso y sus cambios. Primero se selecciona un número impar para el tamaño de la muestra, de esa forma se toma la mediana como el valor central en la muestra ordenada, por lo que la determinación de la mediana como tal no implica cálculos matemáticos. Esta ventaja no tiene significación alguna en los casos de conducción automatizada de los gráficos de control, pero sí en las aplicaciones tradicionales a pie de máquina donde no existe esa posibilidad, debe tenerse en cuenta la correspondiente efectividad de este gráfico para detectar cambios sistemáticos en el proceso.
- GC -  $R$ : Son ampliamente aplicados en la práctica industrial para el control de la dispersión de los procesos, contiene en esencia otro tipo de información diferente a los GC-S. El tamaño del rango  $R$  o recorrido se determina ordenando los valores y tomado los valores extremos como referencia por lo cual estos valores que se encuentran en los extremos o valores limítrofes tienen una influencia determinante en este parámetro. Debe partirse además que por su propia naturaleza, tienen una menor efectividad para determinar los cambios en la dispersión del proceso que los gráficos GC-S, aunque en la actualidad se emplean en procesos convencionales sobre la base de su sencillez en los cálculos y en la conducción de los mismos.[29], [30]
- GC -  $S$ : Se emplean para supervisar el comportamiento de la dispersión de las muestras o del proceso. Anteriormente eran poco aplicados debido a la complejidad matemática de los cálculos necesario para su conducción, esta limitante casi no tiene efecto en la actualidad con la introducción de las nuevas técnicas de informática en los procesos de manufactura y en los procesos de forma general, sin embargo brinda una gran ventaja desde el punto de vista de su efectividad para detectar cambios en la dispersión del proceso. Esto se fundamenta

en el alto contenido de información de la desviación estándar y su efectividad para interpretar los valores extremos.

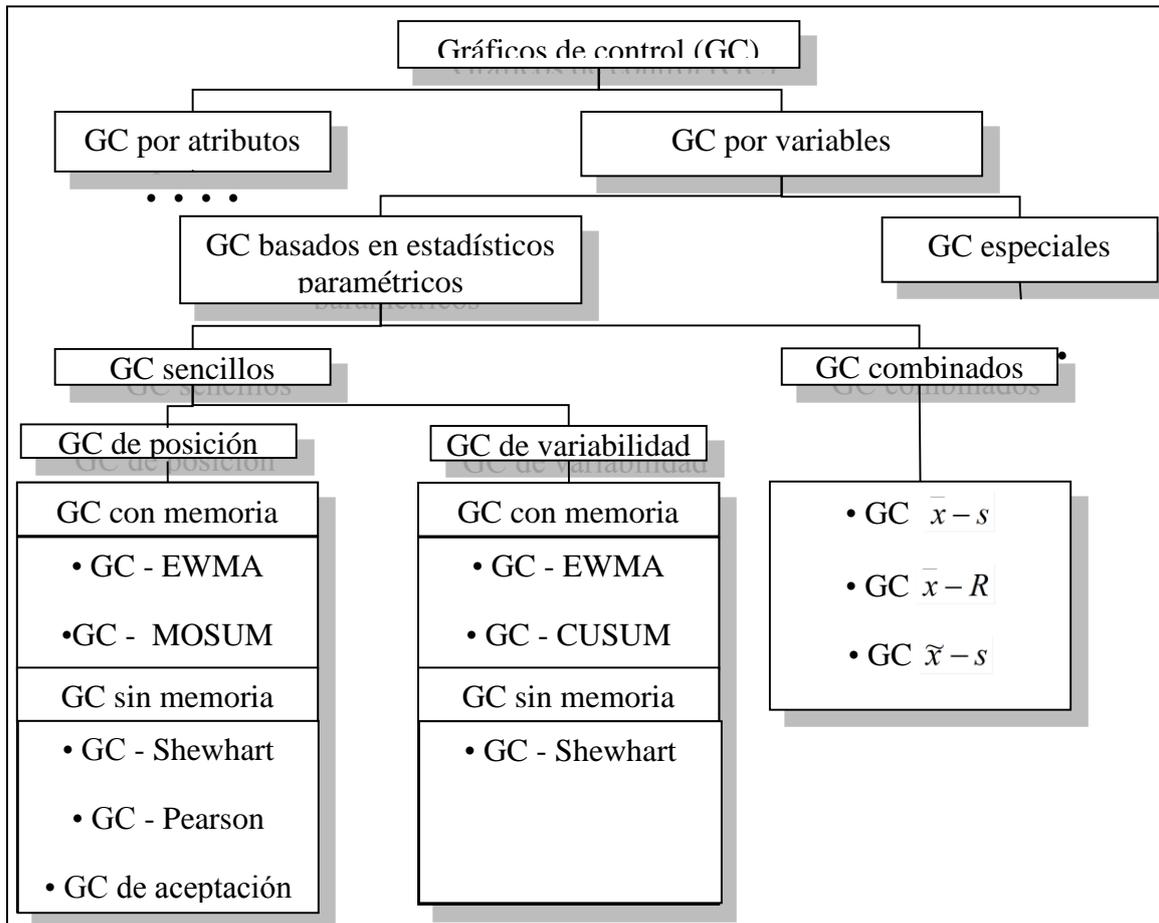


Figura 1.3: Resumen de los diferentes tipos de gráficos de control.  
 Fuente: Wisweh, Coello y Machado: “ Statistische Prozesslenkung mit Qualitätsregelkarten”[24], [31]

El procedimiento general para la preparación y puesta a punto de los GC por variables comienza por la determinación de una medida atributiva para la descripción estadística del proceso y sus condiciones a través del valor central del proceso  $\mu$  y su dispersión  $\sigma$ . Luego se realiza la estimación que tiene lugar a través del análisis estadístico de procesos. En parte se requiere para ello también conocimientos estadísticos sobre el comportamiento de la producción y la fabricación y de la tecnología empleada a estos efectos y su influencia en la fabricación.

Para cualquier tipo de GC los respectivos parámetros estadísticos (valores individuales, medias o desviaciones para un tamaño de muestra) se obtienen mediante pruebas estadísticas sobre un tipo dado de distribución muestral. En la mayoría de los casos de los

GC por variables, es empleada la distribución normal, en casos excepcionales se emplean determinadas transformaciones como por ejemplo la distribución lognormal.

Para un proceso en el que no se ha intervenido, tienen en general unas fronteras definidas, dentro de las cuales deben caer cualquiera de los valores correspondientes de las muestras, sin que se intervenga en el proceso. [24], [25]

Los gráficos de control son representaciones gráficas lineales que tiene como finalidad estudiar, gestionar y evaluar la estabilidad de un proceso a lo largo del tiempo, en función de la evolución del valor de una o varias variables determinadas que rigen dicho proceso.

Un proceso se dice que se encuentra “bajo control”, cuando tras ir eliminando una a una todas las causas especiales de variabilidad, se encuentra libre de causas especiales, y preparado para evaluar el índice de capacidad real continuo CPK, con la finalidad de poder mejorar el proceso.

El perfeccionamiento de los procesos mediante el uso de los Gráficos de Control univariados ha de entenderse como un proceso continuo y sistemático en el que se repiten las fases de recogida de datos, control estadístico y conocimiento de la capacidad del proceso.

### **1.6.2 Gráficos de control multivariado de procesos**

Cuando la calidad del proceso está definida por varias variables, éstas deberían ser estudiadas conjuntamente ya que una anomalía en el mismo puede estar anunciada no sólo por la detección de una salida de control en los gráficos individuales correspondientes a algunas de las variables, sino también en la relación entre las variables que se estudian.

El control multivariado de procesos permite un uso más completo de la información estudiando el comportamiento de las variables en forma simultánea.

Un gráfico de control multivariado consiste en la cuantificación de una forma cuadrática capaz de resumir en un escalar la información proveniente de diferentes características, de tal manera que este escalar resume de manera integral lo referido al centramiento y variabilidad del proceso.

A continuación se hace una breve descripción de los gráficos multivariados que se emplean con ésta finalidad, según el análisis de la literatura.[32]

La más conocida de estas gráficas es la  $T^2$  de Hotelling, que supone una distribución normal multivariada para el conjunto de variables en estudio, y exige que se conozca tanto el vector de medias como la matriz de varianzas y covarianzas. El estadístico de control es el valor de una chi-cuadrado que se obtiene de una expresión sencilla, cuyo resultado deberá ser menor o igual que el límite de control superior para aceptar que el proceso está bajo control. Tiene como principal desventaja que presenta un solo límite superior de control sin línea central, cuando se presentan puntos fuera de control la interpretación es mucho más difícil pues no se puede identificar la variable que ha ocasionado esta situación, por lo que este procedimiento además de largo puede fallar en la obtención de la señal fuera de control. [32]

La gráfica descrita anteriormente no presenta memoria, pues solo considera la información contenida en la última muestra procesada, sin embargo los diagramas de control de suma acumulativa (MCUSUM) y de control multivariado para la media ponderada exponencialmente (MEWMA) respectivamente si la presentan.

Los diagramas de control de suma acumulativa son un conjunto de procedimientos secuenciales basados en razones de probabilidad y su principal ventaja es que pueden detectar más eficazmente pequeños cambios en la distribución de una característica de calidad que está siendo controlada y por lo tanto el proceso se puede mantener bajo un estricto control. El mismo grafica las sumas acumulativas de las desviaciones de los valores muestrales con respecto de un valor objetivo y al mismo tiempo incorporan toda la información encontrada en las secuencias de datos. Son efectivos en pequeñas muestras y los convierte en buenos candidatos para su uso en industrias químicas y de proceso, en la producción discreta de partes donde existe dedición automática de cada parte y en el control en línea donde se utiliza una computadora conectada directamente a estación de trabajo. Por lo anterior expuesto se manifiesta que no son un procedimiento efectivo para tratar información histórica y detectar un cambio en el proceso ya que las detecciones pueden ser muy lentas. [32]

La gráfica MEWMA aplica un procedimiento similar, con la diferencia de que presenta una longitud media de corrida (ARL) menor que los otros procedimientos multivariados, y por lo tanto es capaz de detectar rápidamente corrimientos en la media de alguna de las variables involucradas. Son considerados paramétricos, pues parten de supuestos de normalidad. Es un promedio ponderado en el tiempo, ya que cuando realiza la

gráfica del estadístico, cada punto grafiado contiene información no sólo del último período sino también de los anteriores. A cada etapa se le da un peso que decrece en forma exponencial a medida que se aleja del actual. El interés se centra en el control simultáneo de (p) características de calidad correlacionadas entre sí. En la práctica es necesario recolectar los datos durante cierto tiempo en el que el proceso está bajo control para hacer las estimaciones correctamente. [33]

Se toma esta herramienta para el desarrollo posterior de la investigación por ser un un gráfico de control de calidad para series temporales y predecir dónde se encontrará la media del proceso en el próximo período de tiempo, además juega un rol fundamental en la integración del control estadístico de procesos (SPC) y la ingeniería de control de procesos (EPC).

Dentro de los gráficos de control a desarrollar por los gráficos MEWMA se toman normalmente datos individuales, que pueden ser medias (cuando las observaciones individuales de las que provienen las medias no están disponibles), lecturas individuales, cocientes, proporciones, o medidas similares.

Este tipo de cambio implica un pronóstico más robusto y confiable de los futuros valores de la serie real de la producción.[34], [35]

$$\tilde{y}_t = C(y_t + \mathcal{G}y_{t-1} + \mathcal{G}^2 y_{t-2} + \mathcal{G}^3 y_{t-3} + \dots) \quad (1.1)$$

Según este modelo el actual valor  $y_t$  tiene una ponderación o peso igual a la unidad, y para los valores anteriores esa ponderación sería  $\mathcal{G}, \mathcal{G}^2, \mathcal{G}^3, \dots, \mathcal{G}^n$ . [36], [33]

El valor de  $\mathcal{G}$  cae en el rango de -1 a 1, y la suma de los factores  $1 + \mathcal{G} + \mathcal{G}^2 + \dots + \mathcal{G}^n$  resulta  $1/(1 - \mathcal{G})$ , de ese modo se obtiene la constante  $C$  en la ecuación 1.2 resultando

$$\tilde{y}_t = (1 - \mathcal{G})(y_t + \mathcal{G}y_{t-1} + \mathcal{G}^2 y_{t-2} + \mathcal{G}^3 y_{t-3} + \dots) \quad (1.2)$$

El efecto de los valores anteriores del proceso sobre la media exponencial se muestra en la figura 1.4.

Una vez que se ha puesto en marcha este tipo de GC, existe una constante actualización de los valores ponderados, para lograr la adecuada estimación de la media exponencial.

El valor de  $1 - \mathcal{G}$  tiene un significado especial, y el mismo se simboliza como  $\lambda$ . De este modo mientras más cerca de la unidad este el valor de  $\mathcal{G}$ , más cerca del nulo estará  $\lambda$ . Siempre es necesario estimar un valor adecuado del parámetro  $\lambda$  para realizar el análisis de las variables en el proceso de fabricación y obtener el modelo cercano al óptimo.

Como se mostró aquí brevemente, el GC-MEWMA posee simultáneamente las propiedades de los GC tradicionales por variables y además la probabilidad de pronosticar los valores futuros, en dependencia de los valores del parámetro  $\lambda$ . [37], [38], [39], [35]

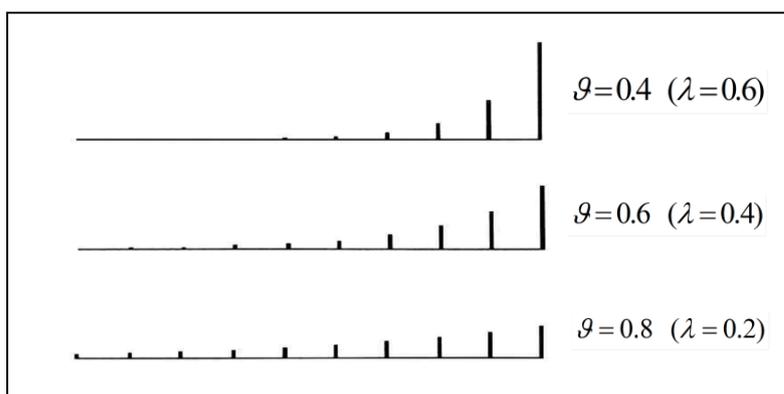


Figura 1.4: GC-MEWMA y efectos de los diferentes valores del parámetro  $\mathcal{G}$

En los procesos de control de calidad multivariados es de mucha importancia la detección de los cambios en la variabilidad. Durante mucho tiempo la atención estuvo centrada fundamentalmente en la media de los procesos, siendo muchas las propuestas hechas para monitorear dicha característica, pero en los últimos años ha sido creciente la valoración que se ha venido dando a la idea de contar con herramientas eficaces que sirvan para monitorear la variabilidad de estos. Es así como en el desarrollo de cartas de control que sirvan para tal fin, se ha propuesto el gráfico MEWMA como una alternativa en aquellas situaciones en que se requiera una especial sensibilidad frente a pequeñas desviaciones en la media de la variable, caracterizado por tener unos límites de control constantes, sin cometer errores graves y obteniendo la ventaja de una mayor sencillez de manejo.

### **1.7 Conclusiones Parciales**

1. La revisión bibliográfica permite determinar que la conceptualización del término calidad, su evolución e integración con las técnicas utilizadas en el mejoramiento de la misma, contribuyen en la actualidad a la búsqueda de la eficacia en el control y la estabilidad de los procesos empresariales.
2. El análisis multivariante permite realizar estudios de los procesos con múltiples características de calidad que se producen en las empresas, siendo consecuentes con las medidas cuantitativas de rendimiento asociadas al mismo; elemento de estudio que no se trabaja hoy en la mayoría de las organizaciones cubanas.
3. La herramienta MEWMA para análisis multivariado es idónea en el desarrollo de la presente investigación, dado que considera la estabilidad de los procesos y la detección de patrones anormales en el tiempo, característica imprescindible en las empresas de construcción por la evolución continua de sus procesos.

## 2 Diagnóstico de los procesos de construcción en la brigada "Construcciones El Progreso"

### 2.1 Introducción

Para el desarrollo de este segundo capítulo se hizo una caracterización de la brigada objeto de estudio así como la descripción y análisis de los procesos; desde el punto de vista del flujo de la cadena de suministro, su tecnología y otros elementos que lo componen.

Para una mejor comprensión del mismo se desarrolló un hilo conductor, figura 2.1, el cual servirá como guía y facilitará mejor el entendimiento del tema que se trata.

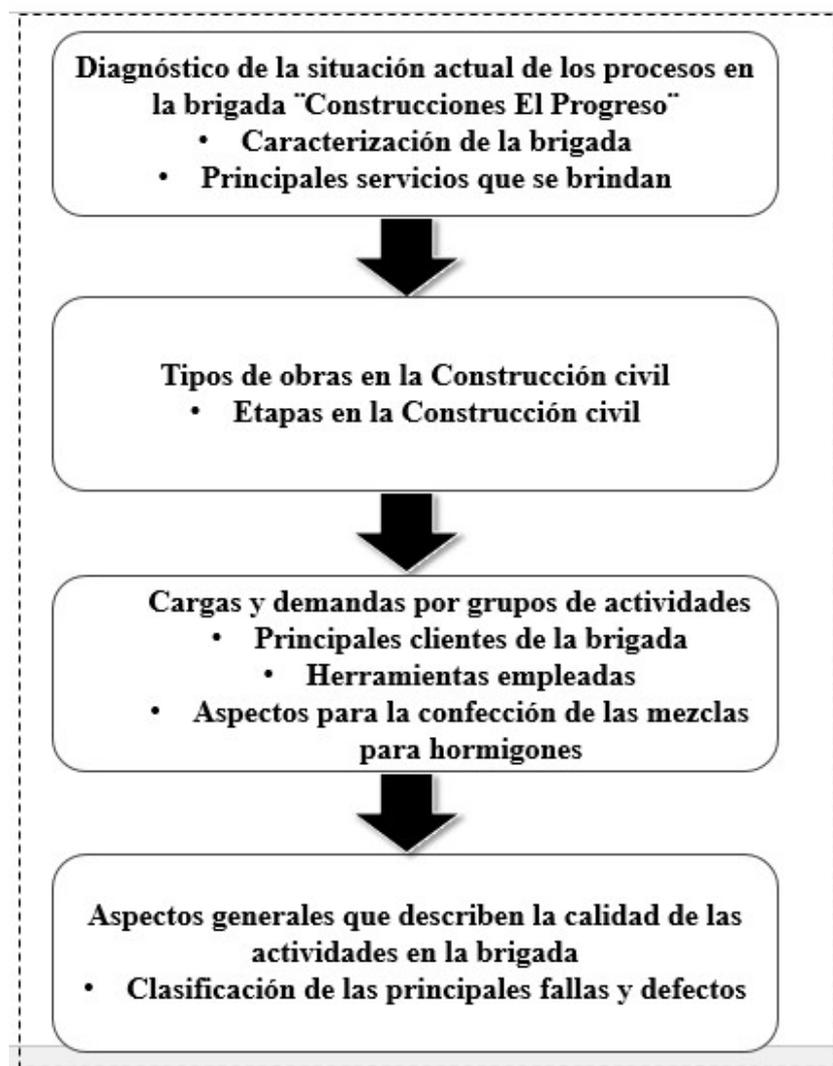


Figura: 2.1: Hilo conductor del Capítulo II.

La estrategia diseñada para el desarrollo de este capítulo está enfocada en el análisis de todos los procesos y servicios que presta la brigada para desde dos punto de vista, clientes y ejecutores, seleccionar aquellas actividades claves que definen la calidad de los proyectos de construcción de obras.

### **2.2 Caracterización general de la entidad objeto de estudio**

La brigada “Constucciones El Progreso“fundada en el mes de julio del año 2015 con domicilio legal en el municipio de Sancti Spíritus, provincia de Sancti Spíritus, situada en la calle Bayamo No 50, entre Manolo Solano y San Ciriaco, está compuesta por un Jefe Principal encargado de la gestión comercial y económica, un segundo Jefe que se encarga de la logística y manejo de la fuerza de trabajo, dos cuadrillas, la No. 1 que radica en el Municipio de Yaguajay y cuenta con 5 operarios, de ellos 3 albañiles que realizan también trabajos de plomería y electricidad y dos ayudantes. La No. 2 radica en el Municipio de Sancti Spíritus y está compuesta por un albañil, un plomero y 3 ayudantes.

Gracias a su tecnología de avanzada y a las soluciones innovativas, la brigada está capacitada para ofrecer servicios de construcción, reparación y mantenimiento de inmuebles, así como, construcción y reparación de sistemas de tratamientos de residuales y actividades de movimientos de tierra.

La brigada cuenta con los recursos humanos necesarios de alta calificación y profesionalidad, que le permita gozar de prestigio nacional e internacional, posee una estructura acorde a los servicios que presta, con resultados favorables, cumpliendo con los plazos establecidos con la calidad requerida, y el empleo de la tecnología adecuada.

En el municipio de Sancti Spíritus existen aproximadamente doce brigadas de Trabajadores por Cuenta Propia (TCP) autorizados a prestar los servicios relacionados con la Construcción, Mantenimiento y Reparación de Inmuebles, y una Cooperativa No Agropecuaria.

### **2.2.1 Principales servicios que brinda a los clientes**

El personal que ejecuta los servicios que presta la brigada tiene una alta calificación y experiencia en el ámbito profesional constructivo. Los controles de calidad que se realizan durante su ejecución son periódicos y rigurosos, pues permiten el adecuado cumplimiento de los planes designados.

Los principales servicios que brinda la brigada son:

- Excavación de zanjas y soterrado de tuberías de PAD de varios diámetros para la evacuación de residuales líquidos.
- Excavación de zanjas y soterrado de tuberías de PVC de varios diámetros para redes Eléctricas en exteriores de Instalaciones Turísticas.
- Encofrado y colocación de acero en cimentaciones, columnas y vigas.
- Hormigonado de vigas zapatas, columnas, vigas cerramientos y losas de cubierta.
- Levante de muros de ladrillos y bloques de hormigón.
- Salpicado, resano y fino en paredes y techos.
- Colocación de revestimientos y pavimentos.
- Instalaciones hidráulicas.
- Instalaciones sanitarias.
- Colocación de aparatos sanitarios.
- Instalaciones eléctricas.
- Colocación de accesorios eléctricos.
- Pintura en paredes y techos,
- Pintura de carpintería de madera y metálica, así como, de rejas.
- Colocación de carpintería de madera y de aluminio.

- Elaboración y soldadura de estructuras metálicas ligeras para cubiertas.
- Colocación de tejas acanaladas metálicas en cubiertas.

La calidad de una obra puede pensarse a priori, desde dos puntos de vista. Uno más relacionado con la parte constructiva de la obra, es decir su ejecución; del que resultaría la calidad de construcción. El otro relacionado a la etapa de proyecto, la estética, la especialidad; de este resultaría la calidad del diseño.

Un porcentaje del éxito del proyecto está sujeto al talento del proyectista, y el otro está directamente relacionado con el esfuerzo que el mismo ponga para resolver cuestiones de calidad básicas para toda obra de construcción; es importante definir el tipo de obra a ejecutar según su clasificación y posteriormente realizar los procesos derivados de la misma, como por ejemplo el emplazamiento del terreno, las visuales, el asoleamiento, la selección de insumos, texturas y colores, la vegetación, etc. Estos son factores fundamentales, no solo para alcanzar el objetivo de calidad, sino plasmar las intenciones del proyecto.

### **2.3 Tipos de obras de Arquitectura o Edificaciones en la Construcción Civil**

En la construcción, existen diferentes tipos de obras cada una de variadas magnitudes y tiempos de ejecución. Sin embargo, todos los proyectos de construcción comparten la complejidad en la administración en su ejecución por la gran cantidad de implicados en ellos, los mismos se clasifican en:

- Obras de Ingeniería: Abarcan las obras de infraestructura en general tales como, los movimientos de tierra, viales, puentes, ferrocarriles, marítimas, pistas de aterrizaje, presas, viaductos, oleoductos, gasoductos, etc.
- Obras de Arquitectura: Comprenden principalmente edificaciones tales como, viviendas, hospitales, inmobiliarias, hoteles, oficinas, escuelas, centros deportivos, centros comerciales, aeropuertos, agropecuarias, etc.
- Obras Industriales: Dentro de este grupo se clasifican los centrales de producción de energía, fábricas de distintos tipos, subestaciones eléctricas,

telecomunicaciones e instalaciones radioeléctricas, plantas químicas, centrales nucleares, etc.

Cada proyecto es único, se puede decir que son irrepetibles porque cada uno demanda material durante un período de tiempo determinado, los cuales cambian para un nuevo emprendimiento. En segundo lugar, se desarrollan en etapas claramente definidas, las cuales tienen requerimientos de materiales diferentes en cuanto a cantidad y especificación, el cual será el tema a tratar en la siguiente sección de la investigación por el valor que representa.

### **2.3.1 Procesos o etapas en las obras de Arquitectura o Edificaciones en la Construcción Civil**

La realización de cualquier proyecto de obra civil o construcción o la mejora de las ya existentes se inicia mucho antes de que las máquinas comiencen a trabajar en el terreno. Antes de que esto ocurra, se desarrolla un laborioso proceso que comienza cuando se considera que existe una necesidad por cubrir, sea con objeto de la mejora de los servicios públicos o de satisfacer necesidades privadas (para mejorar la comunicación entre dos poblaciones se plantea la necesidad de carretera, etc.). Después, será necesario estudiar las diferentes alternativas posibles, el costo económico y las repercusiones medioambientales y sociales de la obra.

Al igual que cualquier proyecto, los de construcción se realizan a través de etapas, partiendo de la identificación de una necesidad que se pretende satisfacer. Es clave y básico conocer e identificar las principales fases de desarrollo de una obra de construcción puesto que ayudan a definir y madurar el producto del proyecto. A continuación se muestra una breve descripción de estas fases:

*Movimiento de Tierra:* en estos trabajos se exige que se respeten los linderos o límites del terreno en el cual se realizará el movimiento de tierra. Es importante que se protejan los monumentos, edificaciones u otros puntos que han servido para el replanteo de los objetos de obra por el proyecto, los árboles u otros elementos existentes en la parcela y seleccionados por el proyectista como parte del proyecto, así como posibles redes soterradas existentes en servicio. Es recomendable en esta etapa ejecutar todos aquellos

trabajos que impliquen excavaciones para cimientos, piscinas, cisternas, redes soterradas de acueductos, alcantarillados etc.

*Cimentaciones:* sirven de sostén de todas las cargas, pesos de los edificios y de las personas y equipos que lo utilizaran según las normas establecidas, se considera que un fallo en su construcción significa un perjuicio parcial o total de la edificación. Es necesario tener como fundamento para su cálculo y ejecución un buen informe de suelo de los laboratorios especializados (ENIA), efectuado previo al proyecto de estructura con las recomendaciones necesarias a seguir en todo este proceso. Las cimentaciones más conocidas y usadas son las corridas y las aisladas, además existen otras especiales en dependencia de las características de los suelos.

*Estructuras:* son el cuerpo principal de la edificación, existen distintos sistemas constructivos a proyectar y ejecutar tales como las estructuras fundidas en el lugar, muros de carga, sistemas prefabricados, metálicas y otras tecnologías de nueva adquisición en el país y usadas ya en hoteles, inmobiliarias y otras edificaciones.

*Albañilería húmeda:* son los trabajos destinados al cierre exterior de las edificaciones y sus divisiones interiores, colocación de pisos y enchapes en paredes también se contemplan en ella los trabajos a realizar en las cubiertas para su acabado e impermeabilización. Para su desarrollo se divide en tres partes principales: albañilería gruesa, albañilería de acabado y albañilería en cubiertas o seca.

- *Albañilería gruesa:* comprende el levantamiento de muros y tabiques, resanos y repellos gruesos, colocación de marcos o premarco.
- *Albañilería de acabado:* permite la terminación de la edificación. Comprende los repellos finos en paredes interiores y exteriores, masillas en interiores, revestimiento con planchas de yeso en interiores, enchapes de paredes interiores y exteriores, morteros monocapas, pisos etc.
- *Albañilería seca o en cubiertas:* consiste en la colocación de estructuras metálicas ligeras y galvanizadas, para soportar planchas de yeso u otro material, se usan tanto en tabiques interiores como en paredes exteriores.

*Instalaciones de sistemas:* son los que garantizan la funcionalidad de las edificaciones, comprenden la instalación de la electricidad y de corrientes débiles, hidráulicas y sanitarias, aires acondicionados etc.

*Montaje de equipos tecnológicos:* complementan los sistemas de instalaciones en las edificaciones que están en proyecto de construcción, los trabajos se ejecutan por brigadas especializadas.

*Áreas exteriores:* es la ejecución de obras de construcción como las piscinas, viales y aceras, áreas verdes y redes exteriores.

*Trabajos de terminaciones:* es la colocación de los falsos techos, las carpinterías, pinturas.

*Pruebas y puesta en marcha:* este proceso es la culminación de la obra, consiste en las pruebas integrales y definitivas de los sistemas de instalaciones y de los equipos que participan, así como la revisión y aceptación definitiva de los trabajos de construcción ejecutados en las distintas áreas y objetos de obra.

El Jefe de Obra es el responsable del seguimiento y certificación de todos los procesos de arquitectura durante la ejecución de su construcción. Se utilizan en dependencia de las características del proyecto que se trate las Resoluciones de Construcción (RC) apropiadas, las cuales se muestran en el Anexo I, según cada etapa de la construcción descritas anteriormente.

Al hablar del cumplimiento de los objetivos en un proyecto, los términos de eficiencia y eficacia están íntimamente asociados. Una organización o proyecto es eficaz siempre y cuando cumpla una finalidad, por otro lado, la eficiencia es el logro de las metas con la menor cantidad de recursos, es decir, el uso eficiente de estos.

## 2.4 Cargas y demandas por grupos de actividades. Principales clientes de la brigada.

Las empresas que se desempeñan en el área de la construcción es necesario que identifiquen los parámetros, procesos y estrategias de valor que satisfacen las necesidades y expectativas del cliente. Para lograr esto es necesario crear programas para el mejoramiento continuo en el servicio a los mismos, en actividades relacionadas con la construcción de la obra y en la innovación de procesos que satisfagan sus necesidades, utilizando metodologías para el mejoramiento continuo de los procesos que se prestan en la brigada. A continuación se muestra la tabla 2.1 con los principales clientes y demandas de trabajo de la brigada de construcción.

Tabla 2.1: Principales clientes y demandas de trabajo.

Clientes	Contrato	Principales actividades ejecutadas
Hospital Joaquín Paneca, Yaguajay, MINSAP	Impermeabilización de Cubierta	Nivelación de superficie con atezado, pintura imprimante y colocación de manta asfáltica.
Hospital Joaquín Paneca, Yaguajay, MINSAP	Reparación Capital Sala de Maternidad.	Instalaciones hidrosanitarias, eléctricas, enchape en paredes de baños y sala, pisos en baños, colocación de carpintería y pintura.
Villa San José del Lago, MINTUR	Red Eléctrica Exterior	Excavación de zanjas, cableado, construcción de caseta para grupo electrógeno, aceras y alumbrado exterior.
Villa San José del Lago, MINTUR	Reparación Piscina Termal	Encamisado del manantial, enchape de piscina y áreas exteriores.
Empresa Eléctrica Provincial Sancti Spíritus, OBE	Sistema de Tratamiento de Residuales	Excavación de zanjas y colocación de tuberías de PAD para colectoras, tanque séptico y filtro biológico.
Hospital Pediátrico Provincial, MINSAP	Reparación Tanque Séptico	Excavación y colocación de colectoras, construcción de registros exteriores y limpieza del tanque.
Villa San José del Lago, MINTUR	Reparación de 4 cabañas rústicas.	Instalaciones hidrosanitarias, enchape en paredes, pisos y cambio de carpintería.
Empresa de Frutas Selectas, MINAGRI	Reparación Cocina Empresa	Instalaciones hidrosanitarias, enchapes en paredes y mesetas, pisos y cambio de carpintería.
Lavandería La Cubana, MINCIN	Reparación Lavandería La Cubana.	Instalaciones hidrosanitarias para aumentar capacidad instalada, pisos y enchapes.
Empresa de Frutas Selectas, MINAGRI	Reparación Fábrica de Conservas.	Construcción de una nave nueva, colocación de enchapes en paredes, pisos y cubierta metálica.
Empresa de Frutas Selectas, MINAGRI	Reparación Edificio Socio Administrativo.	Construcción de dos baños, pisos, enchapes y pintura del inmueble.

Clientes	Contrato	Principales actividades ejecutadas
Hogar Provincial de Ancianos, MINSAP	Reparación Capital Cocina	Instalaciones hidrosanitarias, eléctricas, pisos, enchapes, impermeable en cubierta y pintura.
Hospital Joaquín Paneca, Yaguajay, MINSAP	Reparación Capital Sala de Mujeres.	Instalaciones hidrosanitarias, eléctricas, enchape en paredes de baños y sala, pisos en baños, colocación de carpintería y pintura.
Hospital Joaquín Paneca, Yaguajay, MINSAP	Reparación Capital Sala de Pediatría.	Instalaciones hidrosanitarias, eléctricas, enchape en paredes de baños y sala, pisos en baños, colocación de carpintería y pintura.

De las actividades anteriormente expuestas en la tabla 2.1, la que más se realiza es la colocación de revestimientos y pavimentos, fundamentalmente el enchape de azulejos y de gres cerámico en paredes y pisos, y pisos o pavimentos de baldosas de terrazo. El principal Cliente es el MINSAP, específicamente el Hospital Joaquín Paneca de Yaguajay.

## **2.5 Principales herramientas empleadas. Herramientas de uso general en la construcción y herramientas de medición.**

Las principales herramientas utilizadas de uso general en la construcción son la cuchara de albañil, frota de madera y de goma, martillo, serrucho, nivel, plomada, picoleta, cincel, barreta, pala, guataca, vagón o carretilla, alicate, llaves de extensión, terrajas, corta tubos, regla, escuadra 24 entre otros.

En el caso de los medios de medición empleados se encuentra la cinta métrica, de las que se poseen dos de 5 m y una de 50 m, en ninguno de los casos se encuentran certificadas por la (OTN). Como medio de medición para las dosificaciones de los morteros y los hormigones se usa el cubo de goma que se vende en la red de mercados industriales por lo que se hace por volumen.

### **2.5.1 Principales aspectos para la confección de las mezclas para hormigones y morteros**

Los materiales deben ser cuidadosamente medidos antes de ser vertidos en el vagón u hormigonera, si el agua se vierte conjuntamente con los demás materiales no es indispensable el tanque. Deben tener algún medio preciso para comprobar el tiempo que

los materiales han estado en la mezcladora. Es muy importante que el hormigón ensayado en el cono de Abrams cumpla el asentamiento indicado en su parámetro técnico.

El mezclado debe comenzar a más tardar 30 minutos después que el cemento haya sido puesto en contacto con los agregados húmedos. Este tiempo debe reducirse a la mitad cuando se emplean cementos de endurecimiento rápido, y podrá prolongarse cuando el cemento se ponga en contacto con agregados secos. Se recomienda un período de tiempo no mayor de 1,5 horas entre el instante en que se añada el agua y aquel en que se descargue el hormigón definitivamente; este tiempo podrá prolongarse a 2 horas en condiciones especialmente favorables y deberá reducirse cuando se añadan materiales que aceleran el fraguado. El tamaño máximo del árido será en relación con el agua, cemento y resistencia del hormigón. La figura 2.2 presenta a los obreros en tales actividades.



Figura 2.2: Grupo de trabajo de la brigada en actividades de preparación de hormigón y morteros.

Se emplea tanto la preparación de hormigones y morteros de forma mecánica con hormigoneras pequeñas o de forma manual, todo lo anterior dependiente de los volúmenes de trabajos a realizar.

El hormigón fresco que se coloca debe cumplir los parámetros técnicos que fueron asignados anteriormente, por lo que se recomienda que durante su ejecución se tomen muestras del mismo y hacer los ensayos correspondientes para conocer su calidad y si es necesario variar las proporciones para obtener la resistencia que se haya especificado.

**2.5.2 Actividades que requieren exactitud en las mediciones, trazado, replanteo y colocaciones.**

El trazado y replanteo es trasladar al terreno la planta de los planos del proyecto, es así lo primero que se debe trazar es todo lo relacionado a excavaciones, es decir con la planta de zapatas y cimentaciones y si el caso ameritará el plano de sótanos, luego del hormigonado de los cimientos se procede al trazado de las plantas en los muros.

En el plano de cimientos se señala los ejes de los muros y columnas, además de otras líneas auxiliares como pueden ser los límites de propiedad, los ejes de un sentido se señalan con letras desde la "A" a la "Z", y los ejes en sentido perpendicular con numeración 1, 2, 3, 4, etc, cuando hay ejes próximos o de características similares como el caso de muros continuos se pueden usar las mismas letras o números pero caracterizándolos con una tilde ejemplo : A- A".

Se procederá al trazado o replanteo mediante cerquillo nivelado y continuo en todo el perímetro de la futura construcción y con una separación de 1 m, conforme a los planos respectivos; dicha faena deberá contar con el visto bueno correspondiente, de la que se dejará constancia en el Libro de Obras. Se adoptará como cota  $\pm 0$  (cero) el nivel más alto de la solera existente por calle de acceso.

A continuación se muestra el grupo de trabajo en una actividad de replanteo inicial que exige marcar el terreno, establecer escuadras y longitudes según los planos constructivos (parte izquierda de la figura 2.3).



Figura 2.3: Grupo de trabajo en actividades de replanteo y encofrado.

Después de los movimientos de tierra siguiendo las líneas de replanteo, generalmente siguen actividades que requieren exactitud como el encofrado para cimientos y vigas de fundación. La misma brigada anteriormente mostrada deja instalado el encofrado días después de los movimientos de tierra lo cual se puede apreciar en la parte derecha de la figura 2.3.

## **2.6 Aspectos generales que describen la calidad de las actividades de construcción civil en la brigada.**

Es necesario que las empresas constructoras cubanas tengan una alta productividad a fin de llevar a cabo un término eficiente y eficaz de las obras en un mercado totalmente competido. El proceso productivo será responsabilidad de todos aquellos que hacen parte de las empresas y también de todos los involucrados en los proyectos de las obras en sus diversas áreas (técnica, administrativa y operativa). El mejoramiento de la productividad es una de las metas principales de la administración de una empresa, proyecto u obra de construcción.

En la industria de la construcción, en Cuba, las pérdidas en la productividad dependen de tres grandes variables, la mano de obra, diseños y administración. La mano de obra es responsable del 10% al 15% de pérdidas, los diseños contribuyen negativamente con 20% a 25% y la administración corresponde de 50% a 55%.

Se harán obras de baja calidad porque los operarios o el supervisor no tienen la experiencia necesaria para el control de los procedimientos constructivos. Si se gasta de más, la obra se termina en el tiempo programado, pero se pierde la calidad al reportar gastos excesivos en mano de obra, material y equipo. Si no se ocupa el personal y los instrumentos o equipos adecuados, seguramente se reducirá la productividad al no presentar eficiencia ni eficacia en el trabajo.

La falta de comunicación entre los empleados origina inseguridad en las obras y al no realizar las funciones que les corresponden, incluyendo al Jefe de brigada como supervisor, se pierde el control de obra al no realizar adecuados procedimientos constructivos. Al no llevar en orden los documentos que intervienen en la obra, como lo son: reportes de bitácora, diario de obra, fichas técnicas, reportes fotográficos y de laboratorio; la brigada tendrá serios problemas y uno de tantos son los atrasos de obra por el uso inadecuado de procedimientos constructivos.

Debido al incumplimiento de especificaciones, se dan malos cambios de diseño, mala planificación del trabajo, procesos mal ejecutados, falta de comunicación y la falta de higiene y seguridad en las obras. Uno de los principales problemas que se dan al ejecutar las obras es la desviación de recursos, tanto del personal como del destino de los materiales, ya que al ser destinados inadecuadamente por el Jefe de brigada origina que los rendimientos no sean los adecuados.

El problema final y uno de los más importantes es cuando las obras llegan al consumidor final, es decir al cliente, y es aquí en donde se tienen que corregir imperfecciones dejadas en las obras al ser reportadas por la insatisfacción del cliente, esto no termina ahí sino que al dejarlo insatisfecho la brigada pierde credibilidad, confianza y puede llegar a perder una o más obras. (Figura 2.4)

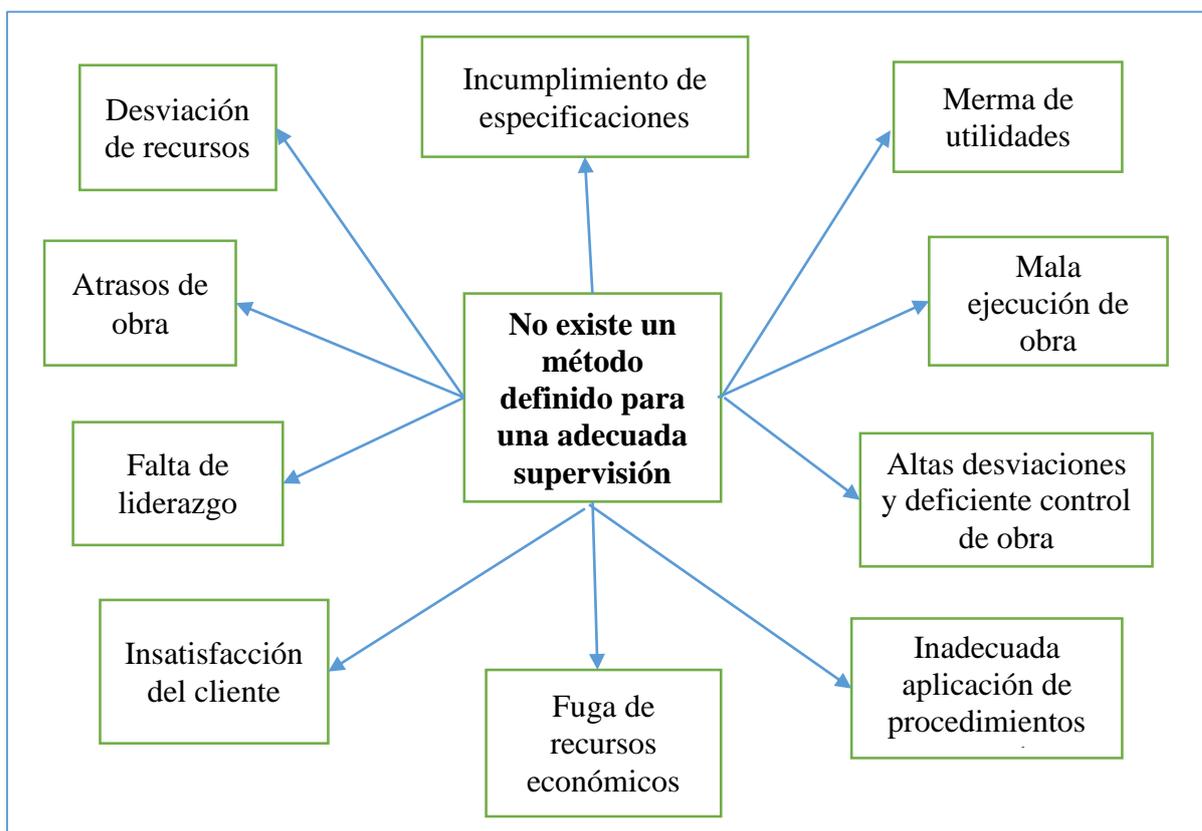


Figura 2.4: Representación de los problemas principales de calidad que se puedan presentar en la brigada de construcción.

La brigada de construcción no está ajena a estas deficiencias por lo que se hace necesario implementar un método para que las obras se supervisen adecuadamente ya que todo trabajo implica un costo y un beneficio, del otro lado actúa también el cliente ya que es

justo y lógico que le sea entregada la obra con las características y las condiciones que se determinaron previamente.

**2.6.1 Clasificación de las principales procesos en cada una de las actividades considerando la opinión de los miembros de la brigada.**

Varios son los fallos que pueden ocurrir en las actividades de la brigada de construcción civil los cuales coinciden en parte con las deficiencias representadas en la figura 2.4. En el Anexo II se presenta una tabla con todos los procesos correspondientes a la construcción en todas sus etapas, donde es importante resaltar que cada operación consta de documentos técnicos, empleo de herramientas específicas (desde utensilios de carga hasta instrumentos de medición), así como de puntos de control específicos para cada uno de los procesos.

El incumplimiento de los puntos de control o las dificultades para ejecutar dichas acciones o exigencias para cada caso coinciden en parte con lo representado en la figura 2.4. Se muestra a continuación la tabla 2.2 con los principales procesos seleccionados.

En la tabla 2.2 los procesos seleccionados fueron el resultado de un análisis realizado con nueve de los miembros de la brigada (Tabla 2.3), los cuales fueron escogidos por su conocimiento y sus años de experiencia, ya que el resto son trabajadores eventuales.

Tabla 2.3: Lista de miembros de la brigada para la selección de los procesos.

Miembros de la brigada		
No	Nombre y Apellidos	Calificación
1	Merido Manuel Echemendia García	Arquitecto
2	Rolando Estupiñan Sotolongo	Ingeniero Civil
3	Alfredo Pérez Fernández	Carpintero, Electricista
4	Argelio Torres Carvajo	Plomero, Electricista
5	Delso Felipe Cruz Domínguez	Albañil “B”
6	Luis Orlando Sánchez Pérez	Albañil “B”
7	Gustavo Cedeño García	Albañil “A”
8	René Fernández Hernández	Albañil “B”
9	Reidel Muro Bandomo	Albañil “A”

Se empleó una escala tipo Likert para otorgar rangos a las características (los procesos se muestran en el Anexo II ) donde cada uno asignó un rango a las operaciones según su grado de dificultad y relaciones con la calidad futura de las obras la cual se muestra a continuación.

Tabla 2.4: Escalas para definir importancia de las operaciones.

Rangos	Grado de Importancia
1	Muy alto
2	Alto
3	Medio
4	Bajo
5	Muy bajo

El resultado de la otorgación de rangos por parte de los miembros de la brigada se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2.2: Documentos de trabajo, herramientas , puntos de control y los principales procesos

Pasos del Proceso	Documentos de trabajo	Utensilios o herramientas	Características a controlar. Puntos de Control
Preparación de hormigón, colocación y compactación y curado	RC:3034 RC:3031 RC:3035 RC:3032 Tabla de Dosificac.	Nivel Cinta métrica Plomada Pala Hormigonera eléctrica. Vagón o carretilla	<ol style="list-style-type: none"> <li>Los materiales deben ser cuidadosamente medidos antes de ser vertidos en el cilindro o tambor si el agua se vierte conjuntamente con los demás materiales no indispensable el tanque. Deben tener algún medio preciso para comprobar el tiempo que los materiales han estado en la mezcladora.</li> <li>Que el hormigón ensayado en el cono de Abrams cumpla el asentamiento indicado en su parámetro técnico.</li> <li>El mezclado debe comenzar a más tardar 30 minutos después que el cemento ha sido puesto en contacto con los agregados húmedos. Este tiempo debe reducirse a la mitad cuando se emplean cementos de endurecimiento rápido, y podrá prolongarse cuando el cemento se ponga en contacto con agregados secos.</li> <li>Se recomienda un período de tiempo no mayor de 1,5 horas entre el instante en que se añade el agua y aquel en que se descargue el hormigón definitivamente; este tiempo podrá prolongarse a 2 horas en condiciones especialmente favorables y deberá reducirse cuando se emplean materiales que aceleran el fraguado.</li> <li>Tamaño máximo del árido, relación agua cemento, resistencia del hormigón</li> </ol>
Encofrado	RC:3037	Cinta métrica Nivel Plomada Martillo Serrucho	<p>Los encofrados cumplirán los siguientes requisitos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Situación (en alineación y altura).</li> <li>Forma y dimensiones (de acuerdo con el proyecto).</li> <li>Será estanco, sin grietas, huecos u otras imperfecciones.</li> <li>La superficie interior perfectamente limpia y lisa o de acuerdo al acabado final que tendrá el hormigón.</li> <li>Se construye de manera tal que puedan removerse parcialmente sin afectar la estabilidad del conjunto.</li> </ol>

Pasos del Proceso	Documentos de trabajo	Utensilios o herramientas	Características a controlar. Puntos de Control
Impermeabiliza- ciones varias		Cuchara de albañil, picoleta, cuchilla para cortar, cinta métrica, flameador a gas	<p>Relación de las actividades</p> <p>-Replanteo: Se replanteará la colocación del fieltro en su extensión longitudinal en relación coincidente al local y previendo el arranque lateral desde una altura de 100 mm en el plano vertical y montas de 100 mm entre fieltros, hasta cubrir el área. Sólo ha de ser necesario replantear la primera pieza, marcando 900 mm en el plano horizontal a partir de la pared por donde ha de iniciarse el trabajo.</p> <p>- Aplicación del aparejo asfáltico: Deberá cumplir las especificaciones señaladas en el Catálogo de la Construcción. CUP: 458-1-01.</p> <p>- Colocación de la manta: tener en cuenta la junta y la soldadura mediante calor.</p> <p>- Remates: En los encuentros de planos verticales con horizontales, pasillos y paredes, colindante, tapa de cisterna sobre muro vertical, etc., y siempre que la pieza de manta colocada horizontalmente no se haya extendido hasta cubrir el plano vertical, se debe de colocar una pieza que cubra esta junta de ambos fieltros y cubra no menos de 100 mm en el plano vertical y 200 mm en el horizontal.</p> <p>Debe preverse que los ángulos a cubrir por los remates sean ochavados, libres de aristas.</p> <p>Todo perfil vertical (tubo de reventilación en cisterna) o construcción sobre plano horizontal, (muro para boca o tapa de hierro en cisterna), debe ser objeto de remate en todo su perímetro con una pieza de manta a 100-250 mm de altura y 250 mm en el plano horizontal.</p> <p>- Terminaciones: La manta tiene que quedar pegada en toda su área, no puede quedar ondulaciones, uniformemente cortada, limitar al máximo el tránsito de personas por encima de la manta.</p>

Tabla 2.5: Resultado de los rangos otorgados a las operaciones según operarios de la brigada.

Procesos	(Miembros de la brigada)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Excavaciones	5	4	4	4	4	4	4	5	5
Reinchos	4	5	4	4	4	4	3	5	5
Hormigoneado	1	1	2	1	2	1	2	1	2
Encofrado	2	2	2	1	2	2	1	1	1
Aceros	4	4	3	4	4	3	3	3	4
Mosas	4	4	3	4	5	4	4	4	3
Impermeabilizaciones	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Hidráulico	4	4	4	5	4	4	5	4	5
Muros	4	4	4	5	5	4	4	5	4
Instalaciones sanitarias	4	4	4	5	4	5	5	5	5
Revoques	2	1	2	2	2	1	2	2	3
Pisos	3	4	4	4	4	4	3	4	5
Enchapes	4	3	3	3	5	5	4	4	4
Muebles sanitarios	4	5	4	4	5	5	5	5	5
Pintura	2	4	3	3	3	4	3	3	4
Carpintería	5	5	5	4	5	5	4	5	4
Techo	4	5	4	4	4	4	5	4	4

Procesos	(Miembros de la brigada)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Electricidad	5	4	4	5	5	4	5	4	4

En el Anexo III aparece la solución por Mathcad para el cálculo del coeficiente de Kendall del resultado de los rangos otorgados conjuntamente con el valor del percentil Chi-cuadrado y su probabilidad correspondiente.

Una prueba paralela fue realizada con el IBM-SPSS 23.0 para verificar la fiabilidad de la escala diseñada y además los valores correspondientes del coeficiente de Kendall. (Ver tabla 2.6)

Tabla 2.6: Fiabilidad de la escala y Prueba W de Kendall

Estadísticas de fiabilidad		Rangos	
Alfa de Cronbach	N de elementos		Rango promedio
,977	9	Excavaciones	12,39
		Reinchos	11,94
		Hormigoneado	2,39
		Encofrado	2,72
		Aceros	8,11
		Mlosas	9,83
		Impermeabilizaciones	1,83
		Hidráulico	12,28
		Muros	12,39
		Instalaciones sanitarias	13,67
		Revoques	3,28
		Pisos	10,00
		Enchapes	9,94
		Muebles sanitarios	14,44
		Pintura	6,83
		Carpintería	14,39
		Techo	11,61
		Electricidad	12,94
<b>Estadísticos de prueba</b>			
N	9		
W de Kendall <sup>a</sup>	,732		
Chi-cuadrado	111,993		
gl	17		
Sig. asintótica	,000		
a. Coeficiente de concordancia de Kendall			

Al analizar los resultados obtenidos se comprueba que coinciden con los mostrados en el Anexo III, por lo que la escala diseñada para el estudio es fiable, donde se concluye que desde el punto de vista de los miembros de la brigada, los proceso que determinan la

calida de la obra final son la correcta elaboración de hormigón, el posicionamiento del encofrado e impermeabilizaciones varias.

### 2.6.2 Clasificación de las principales fallas y defectos en cada una de las actividades desde el punto de vista del cliente.

Diversas son las características y especificaciones que exigen los clientes para satisfacer sus necesidades. Los mismos en correspondencia con los principales encargados de la brigada mediante un contrato establecen todos los requerimientos y parámetros que se deben cumplir durante la ejecución de los procesos de construcción en las obras de arquitectura.

En el Anexo IV se muestra una tabla que describe los principales requisitos de calidad exigidos por los clientes en cada uno de los procesos que presta la brigada de construcción civil.

Es importante el cumplimiento de los requisitos de calidad en la realización de dichos procesos ya que requiere especial cuidado en la “integración” de todas las acciones necesarias para que el resultado final (Obra) cumpla con el fin para el cual fue diseñada, en el tiempo y con los costos previstos oportunamente por el cliente.

Se muestra a continuación la tabla 2.7 con los principales procesos seleccionados por lo principales clientes de la brigada y sus requisitos de calidad correspondientes.

Tabla 2.7: Principales procesos y requisitos de calidad.

Principales Procesos	Requisitos de Calidad
Hormigoneado	1. Al llegar el hormigón al lugar de colocación debe mantener la misma calidad que al terminarse el mezclado, o sea, que no debe haberse producido segregación, desecación o exceso de agua, ni contaminación con sustancias nocivas al hormigón
Encofrados	Antes del hormigonado se tendrá en cuenta que: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las cuñas utilizadas para el alineamiento final estén aseguradas en posición después del chequeo final.</li> <li>2. Los encofrados estén anclados a los puntales que lo soportan.</li> <li>3. Las dimensiones del encofrado terminado cumplan con las tolerancias establecidas.</li> <li>4. Los puntales de la falsa obra están ajustados por medio de cuñas para darle la elevación y contraflecha especificada en el proyecto.</li> <li>5. Se han tenido en cuenta los asentamientos del terreno, la retracción de la madera, la deformación por carga muerta, el acortamiento elástico de la madera y la estanqueidad de la junta.</li> <li>6. Los tablonos que forman los caminos apoyen sobre puntales o patas o directamente sobre el encofrado o sobre elementos estructurales existentes, pero nunca sobre el acero de refuerzo.</li> </ol>

Principales Procesos	Requisitos de Calidad
	7. Las superficies del molde se han humedecido o cubierto con aceite u otro material adecuado. 8. Del encofrado se ha eliminado cualquier residuo y está limpio. 9. Las gateras de limpieza en columnas y muros estén cerradas. 10. Están correctas las dimensiones de cada elemento del encofrado. 11. Durante y después del hormigonado se comprobará que las elevaciones, contraflechas y aplomado, del encofrado se mantengan dentro de las tolerancias previstas para lo cual se dispondrá de los obreros necesarios convenientemente situados, para detectar y realizar los ajustes requeridos, en casos especiales podrán colocarse dispositivos de detección que permitan descubrir deformaciones excesivas.
Impermeabilizaciones	1. Las áreas impermeabilizadas estarán totalmente cubiertas de manta en su plano horizontal y una altura de 100 mm en su perímetro total. 2. Las uniones o juntas de las mantas quedarán solapadas en 150 mm unas sobre otras, siempre montándose desde el nivel inferior al superior. 3. De haberse producido perforaciones accidentales, o rasgaduras de la manta, serán reparadas antes de la entrega. 4. Toda el área de trabajo quedará limpia, libre de desperdicios o materiales sobrantes, así como retirados cualquier utensilio o herramienta usados durante la ejecución. 5. Comprobar mediante inundación que la cubierta no se filtre.

Los procesos seleccionados fueron el resultado de un análisis realizado con doce de los clientes de la brigada de construcción por ser los más estables y los de mayores demandas (tabla 2.8). Cada uno asignó un rango a las operaciones según su grado de dificultad y relaciones con la calidad futura de las obras.

Tabla 2.8: Lista de los principales clientes de la brigada para la selección de los procesos.

Principales clientes de la brigada			
No	Entidad	Personal encargado	Cargo
1	Hospital Joaquín Paneca Yaguajay	Manuel Santamaría Hdez.	Director
		Michel Gómez Félix	Esp. Inversiones
2	Villa San José del Lago, EMPRESTUR	Ariel González Betancourt	Director General
		Kenia Jiménez Bernal	J. Grupo Técnico
3	Empresa Eléctrica Provincial	Misael Rodríguez Márquez	Dtor. Inversiones
		Ana M. Obregón Montesinos	Esp. Inversiones
4	Hospital Pediátrico Provincial José Martí	René Alfonso Machado	Director
		José Miguel Díaz Bermúdez	J. Dpto. Inversiones
5	Empresa de Frutas Selectas Sancti Spíritus	Rolando Quincoses Arteaga	Director General
		Elba Lidia Sosa Rodríguez	Esp. Inversiones
6	Lavandería La Cubana.	Carlos E. León Reyes	Director General
		José Carlos Rodríguez Méndez	Inversionista

Se empleó una escala tipo Likert (Tabla 2.4) para otorgar rangos a las características la cual se muestra a continuación ( los procesos se muestran en el Anexo IV ).

El resultado de la otorgación de rangos por parte de los clientes a los que se le realizó el análisis se muestran en la tabla 2.9

Tabla 2.9: Resultado de los rangos otorgados a las operaciones según los clientes.

Procesos	Personal encuestado de las empresas clientes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Excav	3	2	4	2	4	4	3	2	3	2	3	2
Reinchos	5	4	4	5	3	3	3	4	3	4	4	5
Horm	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2
Encofr	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1
Aceros	4	5	4	5	5	5	5	5	4	4	4	4
Mlosas	4	3	5	4	3	4	5	5	3	4	5	4
Imperm	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2
Hidr	3	1	2	3	1	1	3	1	3	2	1	1
Muros	5	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5	5
Inst_sanit	1	2	1	1	2	3	3	2	3	2	2	2
Revoq	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4
Pisos	4	3	4	4	4	3	4	4	2	3	3	4
Enchap	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2
Mueb_sanit	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2
Pint	4	3	3	3	3	3	4	3	4	2	4	2
Carp	5	5	4	5	5	5	4	4	4	5	4	4
Techo	5	4	5	5	4	5	5	5	5	4	4	5
Elect	2	1	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2

En el Anexo V aparece la solución por Mathcad para el cálculo del coeficiente de Kendall del resultado de los rangos otorgados conjuntamente con el valor del percentil Chi-cuadrado y su probabilidad correspondiente.

Una prueba paralela fue realizada con el IBM-SPSS 23.0 para verificar la fiabilidad de la escala diseñada y además los valores correspondientes del coeficiente de Kendall, los cuales coinciden con los resultado mostrados en el Anexo V. (Ver tabla 2.10)

Tabla 2.10: Fiabilidad de la escala y Prueba W de Kendall

Estadísticas de fiabilidad		Rangos	
Alfa de Cronbach	N de elementos		Rango promedio
,981	12	Excav	9,08
		Reinchos	12,63
		Horm	4,25
		Encofr	4,58
		Aceros	14,71
		Mlosas	13,42
		Imperm	3,71
		Hidr	5,08
		Muros	15,04
		Inst_sanit	6,04
		Revoq	16,00
		Pisos	11,08
		Enchap	4,50
		Mueb_sanit	4,50
		Pint	10,29
		Carp	14,71
		Techo	15,50
		Elect	5,88

Estadísticos de prueba	
N	12
W de Kendall <sup>a</sup>	,818
Chi-cuadrado	166,951
gl	17
Sig. asintótica	,000

a. Coeficiente de concordancia de Kendall

Los principales clientes de la brigada concluyeron que los procesos que determinan la calidad de la obra final desde su punto de vista son hormigoneado, impermeabilizaciones varias, encofrado, enchapes y la colocación de los muebles sanitarios, los cuales concuerdan en parte con los seleccionados por los miembros de la misma.

Se decide tomar para el desarrollo posterior de la investigación las percepciones coincidentes entre ambos referente al proceso de encofrado solamente por pesentar la limitante del tiempo. Los clientes definen sus necesidades por lo apreciado en el producto final, mientras que los miembros de la brigada tienen más conocimientos y experiencia.

## **2.7 Conclusiones parciales**

1. La brigada "Construcciones el progreso" considera para su proyección el nivel de servicio al cliente ofrecido, las competencias logradas en la brigada, las relaciones provechosas con los proveedores y el mercado donde se desarrolla el proceso constructivo.
2. Las empresas constructivas presentan a nivel nacional marcadas deficiencias entre las que resaltan la interrupción en los trabajos de obra por falta de materiales requeridos y las pérdidas, robos y daños en los materiales, que a su vez, generan desperdicio, sobre costos, incumplimiento en los plazos, y en general, pérdida de productividad.
3. En la selección de los principales procesos, desde el punto de vista del fabricante y del cliente, se identifican coincidencias en la percepción en relación con los procesos que más dificultades generan con la calidad final de las obras; siendo estos hormigoneado, encofrado e impermeabilizaciones varias.

### **3 Aplicación del análisis multivariado en el control estadístico de los procesos**

#### **3.1 Introducción**

En este tercer capítulo se hace el análisis del proceso de encofrado, como uno de los peldaños más importantes para alcanzar la calidad total de las obras en la entidad objeto de estudio. Luego los datos son sometidos a un riguroso análisis estadístico para la determinación de sus parámetros de estabilidad o control estadístico y se calcula la aptitud de estos procesos según las especificaciones establecidas.

#### **3.2 Proceso de encofrado en la construcción civil por la brigada. Parámetros que definen la calidad**

Para la construcción, utilización y remoción de encofrados para estructuras de hormigón armado in situ y de hormigón en masa es de vital importancia cumplir con una serie de requisitos para lograr la calidad requerida en la ejecución de las obras.

El proceso de encofrado requiere de varios puntos de control, los cuales deben ponerse en práctica antes de realizar el hormigoneado, los cuales son mostrados a continuación.

- Las cuñas utilizadas para el alineamiento final estén aseguradas en posición después del chequeo final.
- Los encofrados estén anclados a los puntales que lo soportan.
- Las dimensiones del encofrado terminado cumplan con las tolerancias establecidas.
- Los puntales de la falsa obra están ajustados por medio de cuñas para darle la elevación y contraflecha especificada en el proyecto.
- Se han tenido en cuenta los asentamientos del terreno, la retracción de la madera, la deformación por carga muerta, el acortamiento elástico de la madera y la estanqueidad de la junta.
- Los tablonces que forman los caminos apoyen sobre puntales o patas o directamente sobre el encofrado o sobre elementos estructurales existentes, pero nunca sobre el acero de refuerzo.

- Las superficies del molde se han humedecido o cubierto con aceite u otro material adecuado.
- Del encofrado se ha eliminado cualquier residuo y está limpio.
- Las gateras de limpieza en columnas y muros estén cerradas.
- Están correctas las dimensiones de cada elemento del encofrado.

Durante y después del hormigoneado se comprobará que las elevaciones, contraflechas y aplomado, del encofrado se mantengan dentro de las tolerancias previstas para lo cual se dispone de los obreros necesarios convenientemente situados, para detectar y realizar los ajustes requeridos, en casos especiales podrán colocarse dispositivos de detección que permitan descubrir deformaciones excesivas.

Los puntales que soportan la falsa obra descansarán sobre fajas de madera, situándose las cuñas de ajustes entre los puntales y las fajas. Cuando los puntales descansen sobre el terreno deberán cimentarse adecuadamente para no sobrepasar la capacidad soportante del terreno; en estos casos se realizarán ajustes periódicos de las cuñas para compensar los asentamientos del encofrado durante el proceso de construcción, vertido y endurecimiento del hormigón.

Cuando el apuntalamiento descansa sobre un piso intermedio u otra construcción existente no necesita ser colocado directamente sobre los puntales que se encuentren debajo, pero en este caso la situación de los puntales debe ser aprobada por el proyectista.

Los puntales se colocarán a plomo y en alineación, arriostrándose con fajas y diagonales en las dos direcciones para darle rigidez lateral. Cuando sea necesario empatar puntales, sus extremos estarán a escuadra y se colocarán a tope colocando alfardas en los cuatro lados de la unión y haciendo coincidir fajas de arriostramiento en las dos direcciones en los puntos de empates.

El número de puntales empataados no debe ser mayor del 30 % a un mismo nivel y los empates correctamente hechos. El arriostramiento general de los moldes será suficiente para evitar su deformación por la presión lateral del hormigón.

Cuando se ubiquen puntales inclinados se colocarán topes en sus apoyos y arriostramientos que impidan el deslizamiento y el vuelco de los mismos.

La falsa obra y el encofrado deberán soportar caminos sin sufrir deformaciones intolerables, ni vibraciones o movimientos laterales.

Los encofrados y sus soportes se removerán siguiendo las indicaciones del proyecto ejecutivo. Al removerse los moldes de una parte de la construcción deberá tenerse especial cuidado en no mover los puntales de la parte que no vaya a ser desencofrada.

Se tendrá en cuenta la forma en que han sido contruidos para lograr un mínimo de deterioro en los mismos y dañando lo menos posible las aristas y superficie del hormigón.

Cuando el proyecto no lo especifique se podrán remover los moldes de acuerdo con los períodos de tiempo mínimo medidos a partir del vertido del hormigón indicado a continuación:

Puntales y fondo de vigas	14 días
Losas	7 días
Paredes	1 día
Columnas	1 día
Costados de vigas	12-14 horas
Puntales de arcos menores de 30 m de luz	14 días
Puntales de arcos mayores de 30 m de luz	28 días

A continuación se muestran los requisitos de calidad de los materiales para el logro efectivo del proceso de encofrado.

*Madera:* se emplea la madera de pino, aunque pueden usarse otras maderas que reúnan las condiciones de resistencia y economía propias para esta clase de trabajo.

De forma general se cumplirán los siguientes requisitos:

- Al seleccionar los largos de la madera se estudiará cuidadosamente el trabajo para producir el mínimo de desperdicios.
- Cuando se requiera gran resistencia y pequeña sección en determinados elementos del encofrado se emplean maderas duras cubanas, tales el júcaro.

- La madera en contacto con el hormigón estará libre de defectos, especialmente en los casos en que el hormigón quede expuesto; esta madera se cepilla por una cara y los dos cantos, no así la que se emplea en otras partes del encofrado que puede no estar cepillada o cepillarse simplemente por los cantos.
- El cepillado de la madera facilita el trabajo de alineación y nivelación del encofrado. Al construirse el encofrado, la madera que está en contacto con el hormigón estará parcialmente seca; si está muy seca puede alabearse cuando se humedezca al colocarse el hormigón, y si está muy húmeda, puede contraerse demasiado antes de colocar el hormigón.

Las dimensiones más usuales en las diferentes partes del encofrado son las siguientes:

- a) Entablados (parte del encofrado en contacto con el hormigón) en losas, muros, caras laterales de vigas y columnas:
  - Gruesos: 25, 32 y 38 mm
  - Anchos: 110, 150, 200 y 250 mm
  - Largos: de acuerdo con el trabajo a ejecutar.
  - En los fondos de vigas y arquivadas es conveniente emplear gruesos de 32 y 38 mm.
  - La madera para el entablado puede ser machihembrada, rebajada o simplemente escuadrada.
- b) Arriostramientos: las mismas secciones que para el entablado pero sin cepillar.
- c) Viguetas, marcos de columnas, costillas de vigas o arquivadas y paralelos de muros de poca altura:
  - Gruesos: de 25 a 50 mm
  - Anchos: de 75 a 150 mm
  - Largos: de acuerdo con el trabajo a ejecutar.
  - Esta madera se emplea sin cepillar o cepillada por los cantos.
- d) Vigas, costillas de muros y puntales:
  - Gruesos: de 75 a 150 mm
  - Anchos: de 100 a 250 mm
  - Largos: de acuerdo con el trabajo a ejecutar.

e) Cuñas:

- Secciones de 100 x 150 a 200 x 300 mm y espesores que den una pendiente de 1 a 5.

*Puntillas:* las que se emplean en la construcción de encofrados son de alambre de acero de las longitudes siguientes: 50, 65, 75 y 100 mm y con el diámetro de acuerdo con el largo. Las puntillas de doble cabeza se pueden emplear en las partes del encofrado que no estén en contacto con el hormigón; tienen la ventaja de poderse extraer fácilmente. El largo de la puntilla debe ser, por lo menos, el doble del grueso de pieza que se clava. Las puntillas se colocan normales a la fibra de la madera.

*Alambres:* los que se emplean en la construcción de encofrados, ya sean o no, torcidos, deben ser de hierro dulce galvanizado o sin galvanizar, los diámetros correspondientes a los números del 9 al 12.

El encofrado debe cumplir con las tolerancias establecidas a continuación para garantizar que la obra terminada tenga las dimensiones del proyecto.

*Posición en el plano* (Distancia a la línea o eje de referencia más próximo)  $\pm 10$  mm.

*Verticalidad (siendo la altura básica)*

$h \leq 0,50$ m	$\pm 5$ mm
$0,50 < h \leq 1,50$ m	$\pm 10$ mm
$1,50 < h \leq 3,00$ m	$\pm 15$ mm
$3,00 < h \leq 10,00$ m	$\pm 20$ mm
$h > 10,00$ m	$\pm 0,002 h$

*Dimensiones transversales y lineales*

$L \leq 0,25$ m	5 mm
$0,25$ m $< L \leq 0,50$ m	10 mm
$0,50$ m $< L \leq 1,50$ m	12 mm
$1,50$ m $< L \leq 3,00$ m	15 mm
$3,00$ m $< L \leq 10,00$ m	20 mm
$L > 10,00$ m	$0,002 L$

*Dimensiones totales de la estructura*

$L \leq 15,00 \text{ m}$	15 mm
$15,00 \text{ m} < L \leq 30,00 \text{ m}$	30 mm
$L > 30,00 \text{ m}$	$0,001 L$

*Rectitud*

$L \leq 3,00 \text{ m}$	10 mm
$3,00 \text{ m} < L \leq 6,00 \text{ m}$	15 mm
$6,00 \text{ m} < L \leq 10,00 \text{ m}$	20 mm
$10,00 \text{ m} < L \leq 20,00 \text{ m}$	30 mm
$L > 20,00 \text{ m}$	$0,0015 L$

*Alabeo (siendo L la diagonal del rectángulo)*

$L \leq 3,00 \text{ m}$	10 mm
$3,00 \text{ m} < L \leq 6,00 \text{ m}$	15 mm
$6,00 \text{ m} < L \leq 12,00 \text{ m}$	20 mm
$L > 12,00 \text{ m}$	$0,002 L$

*Diferencias de nivel respecto a la superficie superior o inferior más próxima*

$h \leq 3,00 \text{ m}$	10 mm
$3,00 \text{ m} < h \leq 6,00 \text{ m}$	12 mm
$6,00 \text{ m} < h \leq 12,00 \text{ m}$	15 mm
$12,00 \text{ m} < h \leq 20,00 \text{ m}$	20 mm
$h > 20,00 \text{ m}$	0,001

Antes de colocar las armaduras en el cofre deben de percatarse que estén limpios y dispuestos los tacos para el recubrimiento.

El refuerzo una vez preparado se coloca en el encofrado en la situación indicada en los planos. Si el refuerzo se armara en el encofrado, para mantenerlo en su posición definitiva se amarran las barras longitudinales a las transversales por medio de alambre de calibre no inferior 18, denominándose barras transversales, a toda barra, ya sea estribo, suncho de temperatura o de refuerzo principal colocada en dirección normal a las otras barras que llamamos longitudinales. Este amarre sirve para mantener la separación de las barras entre sí.

Para mantener la separación del refuerzo mayor de 5 cm con respecto a las caras del molde, se emplean tacos de mortero u hormigón con superficies planas o acanaladas para acomodar las barras redondas. Cuando se requieran, se utilizan armazones de barras auxiliares para este mismo fin. La altura de las piezas de soporte estará de acuerdo con la separación indicada en los planos. La separación entre camadas horizontales de barras se mantiene por medio de barras cuyo diámetro coincida con la separación especificada o por medio de prismas de hormigón de dimensiones apropiadas.

El número de soportes debe ser suficiente para que el refuerzo no se flexe sensiblemente. La dimensión mínima de los tacos será de 5 cm en sección, con la altura necesaria. Las armazones de barras tienen forma y dimensiones que varían para cada caso. Las barras verticales pueden mantenerse en posición por medio de alambres amarrados a los moldes.

Los tubos, conductos, cajas, tornillos, etc., que queden dentro del hormigón, deben fijarse firmemente para que no provoquen alteración en la posición del refuerzo.

La preparación de la superficie de contacto entre estos aditamentos y el hormigón, depende de que se desee o no la unión entre aquellos y el hormigón.

La posición y fijeza de las barras se comprobará frecuentemente antes y durante la colocación del hormigón, pues el tránsito sobre el encofrado y el vibrado tienden a alterar la posición del refuerzo.

### **3.2.1 Valoraciones univariadas de los parámetros de calidad en el encofrado**

Para el control de las características de calidad del encofrado se vuelve a reunir al grupo ejecutor de la brigada, y se verifica en este caso el nivel de importancia de cada uno de los requisitos a cumplir.

Las obras de encofrado se dividen en tres casos para los efectos del control estadístico aquí realizado:

1. Horizontales sin soportes inferiores para carga: Techos, vigas y arcos con luz
2. Horizontales con soportes inferiores para carga: Vigas de cimentación apoyadas en manto de piedras o tierra firme.
3. Verticales: Columnas.

En las obras realizadas por la brigada solo se controlaron las del segundo caso y sus medidas especificadas, las cuales son las dimensiones transversales y lineales, y la rectitud.

Sin ser objetivo de la presente investigación se hacen análisis de capacidad de los procesos por ser estos gráficos por elementos, los que definen la tolerancia natural de los procesos en sus límites de control, y solo la comparación con las especificaciones definirá la capacidad del procesos traducida en la probabilidad de cumplimiento o no de las especificaciones.

### **3.2.1.1 Dimensiones transversales y lineales**

La forma de establecer las medidas de control y análisis de la calidad de los encofrados se muestra en la figura 3.2.

Se trazan de forma ideal las diferentes posiciones donde se ejecutarán las medidas, es de notar que en un encofrado debe mantenerse el paralelismo de las caras, la verticalidad así como las distancias entre los diferentes centros al largo del mismo. La distancia entre los puntos de control también depende de la severidad con la que se realiza el control, pero normalmente se toma cada dos metros un punto de control para vigas horizontales sin luz, y para columnas cada un metro.

Como se puede apreciar se planificaron en este encofrado de obra un total de 13 puntos en los cuales se tomarán las medidas anteriores. Esos mismos puntos serán válidos para otras mediciones realizadas a los encofres, es decir, otros parámetros a controlar.



Figura: 3.1: Encofrado horizontal de vigas de cimentación en una obra. Situación de las medidas a tomar.

Las tolerancias a tener en cuenta en esta caso ya fueron mencionadas anteriormente repitiéndose nuevamente. Como las medidas de las longitudes del encofrado están entre 3 a 10 metros se tomará la tolerancia de 20 mm como límite superior.

$$3,00 \text{ m} < L \leq 10,00 \text{ m} \quad 20 \text{ mm}$$

En la figura 3.2 se representa un aumento de tamaño del encofrado para mostrar como es tomada la medición.



Figura 3.2: Forma de establecer las medidas de dimensiones transversales en el encofrado.

Se emplean aquí diferentes instrumentos de medidas, desde reglas graduadas con ángulo recto de tope hasta cintas métricas.

Las mediciones son efectuadas en milímetros, y tan solo se introducen los datos de los excesos o defectos respecto a los valores especificados. La tolerancia que se muestra según las longitudes es la máxima desviación en cualquier sentido. Una regla graduada

con tope de escuadra es empleado en este caso. Con ello se logra medir en perpendicularidad entre las caras del encofrado. Los valores de las mediciones se vierten en tablas para cada caso de encofrado y luego son analizados los parámetros de estabilidad estadística de los procesos de forma univariada.

### Medidas transversales antes de colocar jaulas de acero

Las medidas se presentan en la tabla 3.1 y son el resultado de dos trabajos de encofrados de vigas de cimentación apoyadas en terrenos o zanjas de enrajonado. También es importante destacar que estos controles se hacen antes y después de la colocación de las jaulas de acero, ya que la puesta en posición de las mismas implica en ocasiones reajustes y aprietes de laterales para lograr las separaciones establecidas.

Una de las obras tiene en diseño un ancho del encofrado de 250 mm y la otra de 300 mm. La tolerancia en ambos casos es de 20 mm lo que implica una desviación de  $\pm 10$  mm. La cantidad de mediciones fueron en ambos casos las mismas y las condiciones de trabajo prácticamente iguales, por lo tanto ambos juegos de datos se estandarizan de acuerdo a la diferencia con su valor nominal para aunarlos en un solo gráfico de control que define el control estadístico de los trabajos de encofrado en la brigada.

Tabla 3.1: Valores de las mediciones transversales de los encofrados en dos obras antes de colocar el acero.

MEDIDA Transversal	Nominal	Diferencia	MEDIDA Transversal	Nominal	Diferencia
24,5	25	-0,5	30,2	30	0,2
25,0	25	0,0	29,6	30	-0,4
24,6	25	-0,4	30,5	30	0,5
25,5	25	0,5	31,0	30	1,0
24,5	25	-0,5	30,2	30	0,2
25,0	25	0,0	29,6	30	-0,4
24,6	25	-0,4	30,5	30	0,5
25,5	25	0,5	31,0	30	1,0
25,1	25	0,1	30,6	30	0,6
26,1	25	1,1	29,9	30	-0,1
24,6	25	-0,4	31,6	30	1,6
24,7	25	-0,3	30,2	30	0,2
24,6	25	-0,4	29,8	30	-0,2
ESTADÍSTICAS					
Min	Max	Dif_Máxima	Media	Desv. estandard	
-0,5	1,6	2,1	0,150	0,568	

Es de notar que las mediciones se hacen secuencialmente en un solo sentido, y así mismo se plasman las medidas para verificar si existen regiones o lados con desviaciones

mayores. Se analizará a continuación el estado de control estadístico para la característica de dimensiones transversales y lineales en la muestra de dos obras. La figura 3.3 representa el gráfico de valores individuales de las diferencias entre valores transversales y el valor nominal.

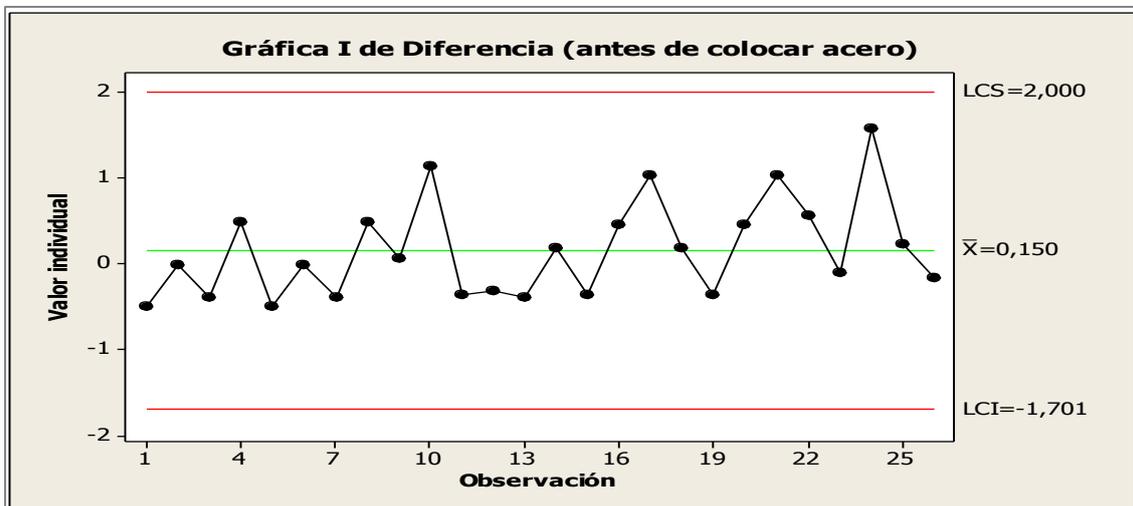


Figura 3.3: Gráfica de valores individuales e histograma para valores de dimensiones transversales de encofrados

En la gráfica anterior puede notarse que los puntos están todos en control estadístico, y su movimiento a lo largo de todo el ciclo de mediciones en el sentido seleccionado es aleatorio, al menos de forma aparente. También se representa en la figura 3.4 un histograma y los índices de capacidad son analizados, notándose que hay una baja probabilidad de mantener las tolerancias, es decir, el proceso no es apto.

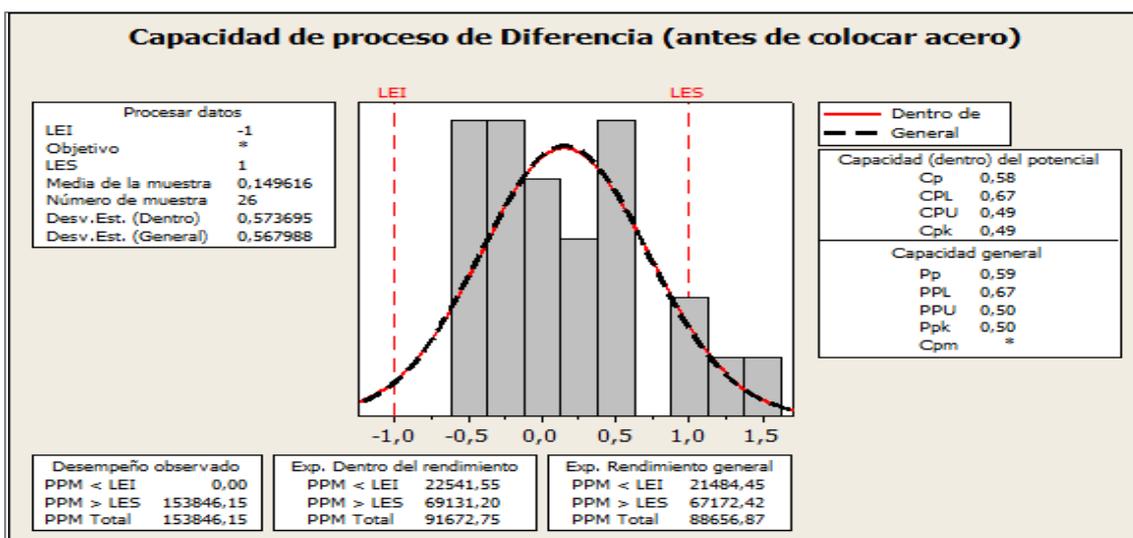


Figura 3.4: Histograma de frecuencias e índices de capacidad de las dimensiones transversales de encofrados.

**Medidas transversales después de colocar jaulas de acero**

La figura 3.2 es la representativa del caso de colocación de las jaulas de acero dentro del cuerpo de un encofrado. Después de la colocación de estas jaulas y los ajustes de las mismas para lograr las separaciones entre las caras del encofrado, el piso y la superficie, por medio de tacos y demás, se ejecutan nuevamente las medidas sobre el cuerpo del encofrado para verificar deformaciones y el grado de estas en las diferentes secciones.

La tabla 3.2 son los resultados de las mediciones transversales en las posiciones antes indicadas y con el mismo procesamiento que en la tabla 3.1. se repiten aquí las mediciones del momento antes y después para verificar los cambios.

Tabla 3.2: Valores de las mediciones transversales de los encofrados en dos obras después de colocar el acero.

MEDIDA Transv. (antes)	MEDIDA Transv. (después)	Nominal	Diferencia	MEDIDA Transv. (antes)	MEDIDA Transv. (después)	Nominal	Diferencia
24,5	<b>25,1</b>	25	0,1	30,2	<b>30,3</b>	30	0,3
25,0	25,0	25	0,0	29,6	<b>31,1</b>	30	1,1
24,6	<b>26,0</b>	25	1,0	30,5	<b>31,4</b>	30	1,4
25,5	<b>27,4</b>	25	2,4	31,0	<b>32,9</b>	30	2,9
24,5	<b>25,0</b>	25	0,0	30,2	30,2	30	0,2
25,0	25,0	25	0,0	29,6	29,6	30	-0,4
24,6	<b>24,8</b>	25	-0,2	30,5	30,5	30	0,5
25,5	25,5	25	0,5	31,0	<b>33,0</b>	30	3,0
25,1	25,1	25	0,1	30,6	<b>31,3</b>	30	1,3
26,1	<b>27,0</b>	25	2,0	29,9	<b>31,6</b>	30	1,6
24,6	24,6	25	-0,4	31,6	31,6	30	1,6
24,7	24,7	25	-0,3	30,2	<b>32,3</b>	30	2,3
24,6	24,6	25	-0,4	29,8	29,8	30	-0,2
ESTADÍSTICAS							
Min	Max	Dif_Máxima			Media	Desv. estandard	
-0,4	2,9	3,3			0,8	1,1	

Es notable en esta segunda medición, las variaciones sufridas en algunos lugares por ajustes de las jaulas de acero. A continuación se hará el análisis del control estadístico de los datos.

Primeramente en el gráfico de valores individuales se notan movimientos alternantes normales alrededor de la línea central, lo cual evidencia que el proceso está en control aparente. Solo es notable el incremento de los valores de los límites de control causados por los ensanchamientos ocurridos en los reajustes de las jaulas de acero dentro de los encofrados, lo cual se muestra en la figura 3.5.

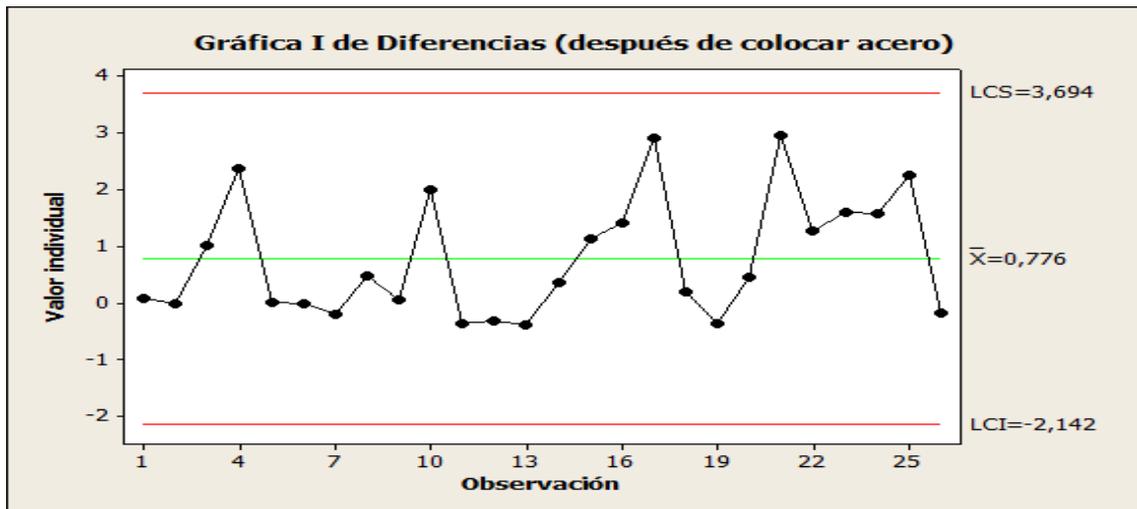


Figura 3.5: Gráfica de valores individuales e histograma para valores de dimensiones transversales de encofrados

También se representa en la figura 3.6 un histograma y los índices de capacidad son analizados, notándose que continua y de hecho se incrementa la baja probabilidad de mantener las tolerancias, es decir, el proceso no es apto.

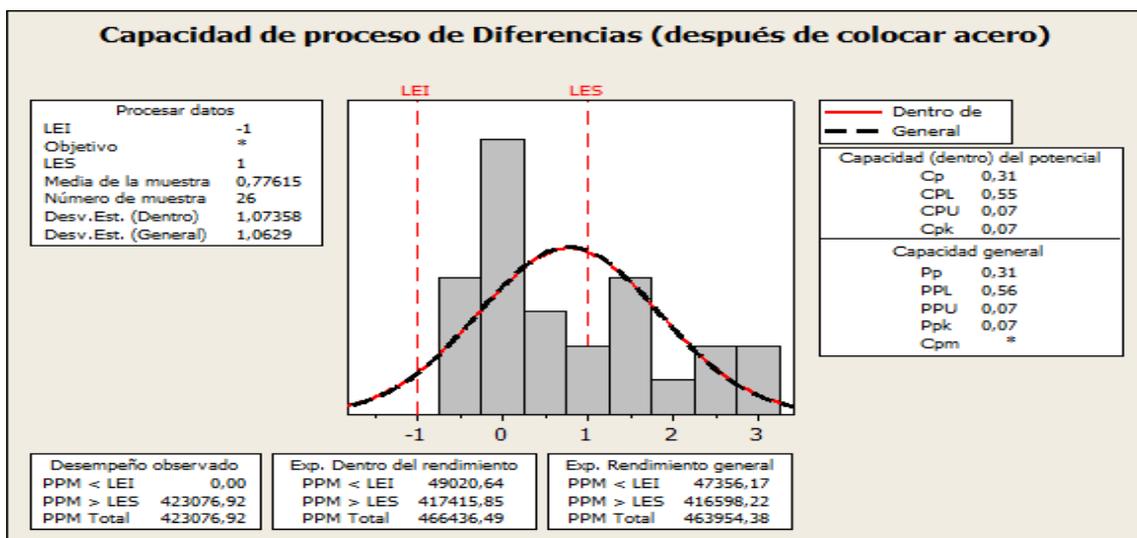


Figura 3.6: Histograma de frecuencias e índices de capacidad de las dimensiones transversales de encofrados.

### 3.2.1.2 Dimensiones de rectitud

La rectitud de los encofrados se mide en la línea horizontal, con una cuerda conectada a cada extremo y separadas lo mínimo de una de las caras. Luego se miden las diferencias laterales si existen en los puntos de control establecidos.



Figura: 3.7: Encofrado horizontal de vigas de cimentación en una obra. Medidas de rectitud.

En los encofrados de madera reutilizadas siempre existen desviaciones laterales que afectan la rectitud en las caras. La figura 3.7 es una representación clara de la forma de establecer las mediciones. Estas se toman al igual que en las medidas transversales, es decir, antes de colocar el acero y después de su colocación.

Las tolerancias tomadas en cuenta son las que se muestran a continuación debido a que existen diferentes longitudes de los tramos de encofrados internos de las vigas de cimentación.

$$3,00 \text{ m} < L \leq 6,00 \text{ m} \quad 15 \text{ mm}$$

Para las dos obras anteriormente los datos de las mediciones no se representan en función de la diferencia con su tolerancia como en los casos anteriores, ya que en este caso el valor nominal es siempre cero, variando solamente la tolerancia en función de la longitud de los tableros. Es de notar que no existen aquí puntos negativos ya que las medidas se establecen desde el hilo con extremo en dos puntos y todas referidas a la menor distancia, generalmente cero que es cuando el hilo toca al tablero. (ver tabla 3.3)

Tabla 3.3: Valores de las mediciones de rectitud de los encofrados en dos obras antes y después de colocar el acero.

MEDIDA Rect. (antes)	MEDIDA Rect. (después)	MEDIDA Rect. (antes)	MEDIDA Rect. (después)	Especificación
1,29	1,29	0,58	0,73	<b>+15 0- 0 mm</b>
0,46	0,46	0,32	0,52	
1,13	1,29	0,91	1,15	

MEDIDA Rect. (antes)	MEDIDA Rect. (después)	MEDIDA Rect. (antes)	MEDIDA Rect. (después)	Especificación
1,24	1,24	0,00	0,00	$\left( \begin{matrix} +1,5 \\ 0 - 0 \end{matrix} cm \right)$
0,58	0,83	0,52	0,52	
0,32	0,32	0,63	0,69	
0,91	0,91	0,96	0,96	
0,00	0,11	0,47	0,47	
0,52	0,77	0,00	0,11	
1,29	1,58	0,04	0,35	
0,46	0,73	0,36	0,66	
1,13	1,20	0,75	1,03	
1,24	1,24	0,27	0,27	
ESTADÍSTICAS				
Min	Max	Dif_Máxima	Media	Desv. estandard
0,00	1,58	1,58	0,69	0,42

Los gráficos individuales mostrados en las figuras 3.8 y 3.9 denotan la existencia de regularidad estadística en todo el proceso de encofrado respecto a la dimensión controlada.

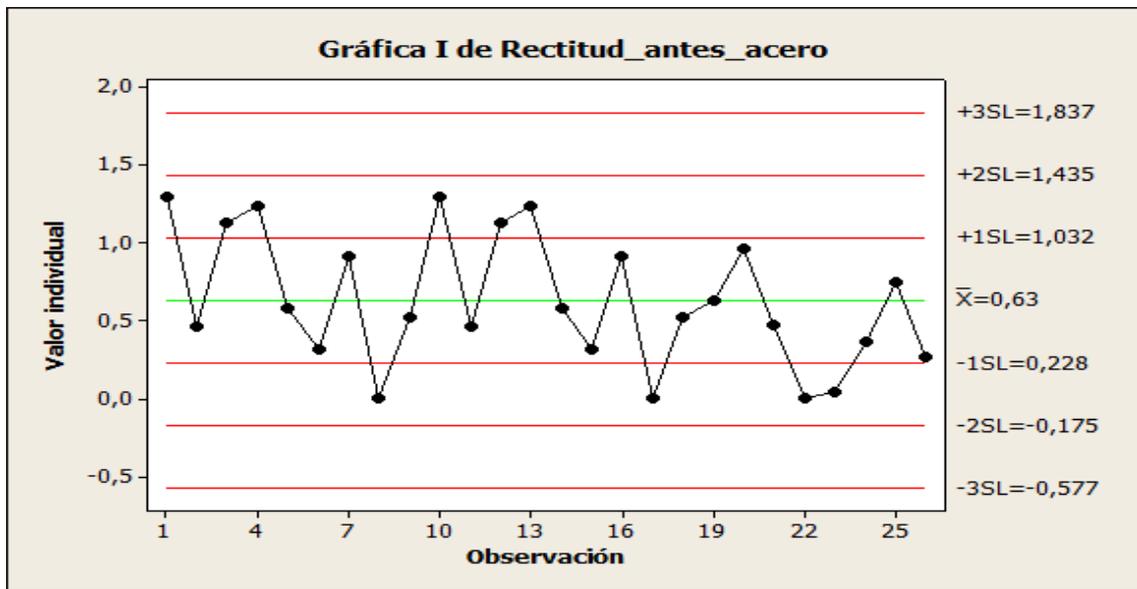


Figura: 3.8: Gráfico de valores individuales para Rectitud antes de colocar acero.

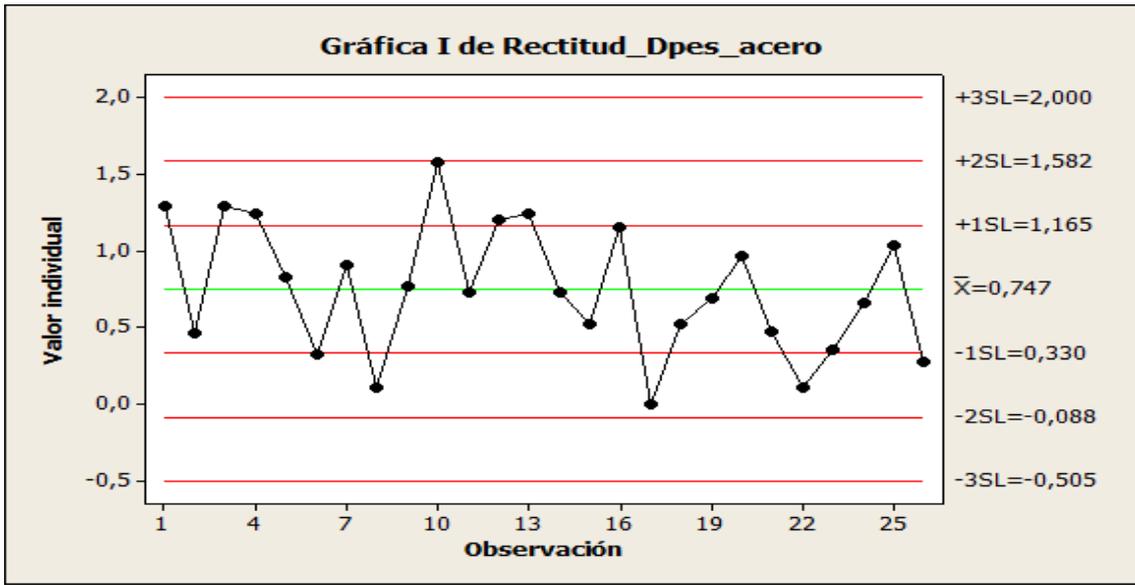


Figura: 3.9: Gráfico de valores individuales para Rectitud después de colocar acero.

En cuanto a la capacidad del proceso, aunque no es objetivo esencial de este trabajo, queda claro que las tolerancias quedan por encima de lo estipulado, lo cual puede requerir posterior al desencofrado y tras el enchape o enlucido de superficies, ciertos trabajos adicionales de rompeduras de tramos, salientes, etc.

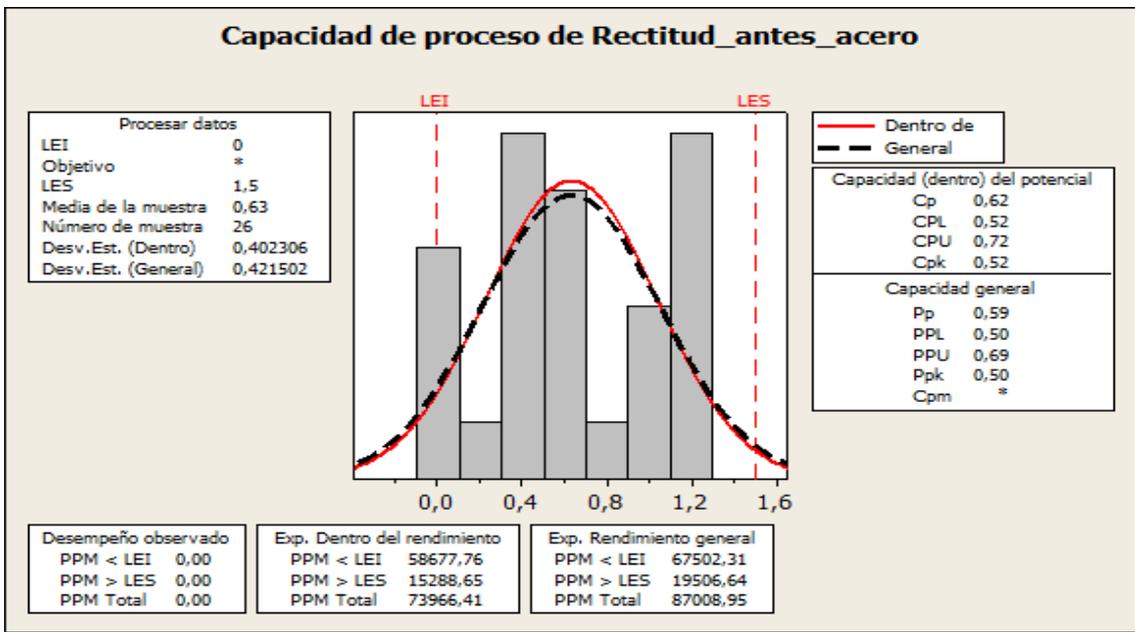


Figura: 3.10: Análisis de Capacidad para Rectitud antes de colocar acero.

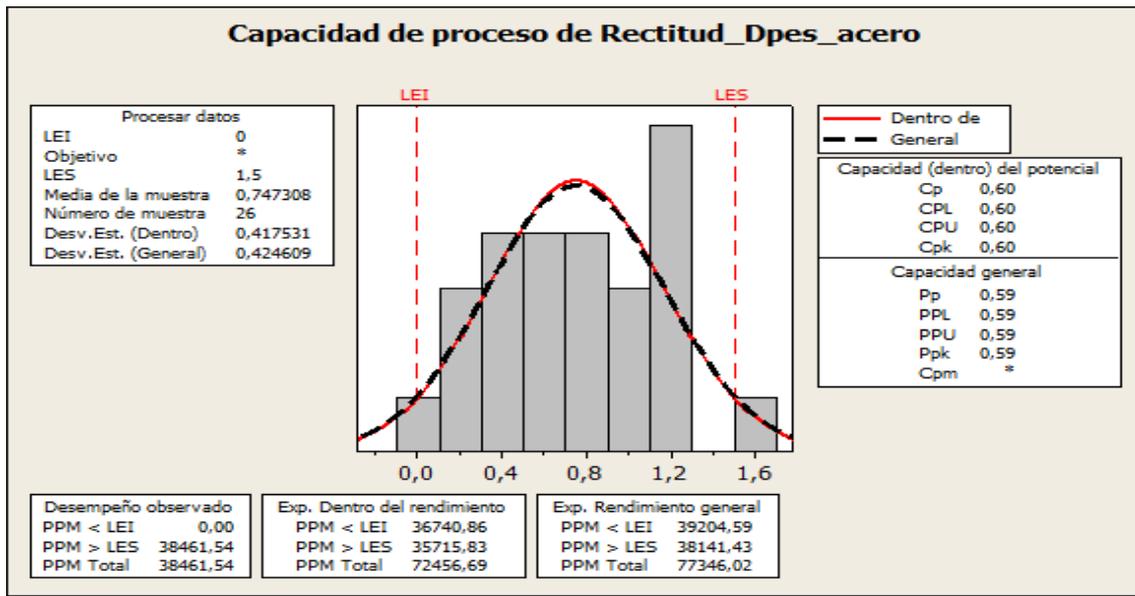


Figura: 3.11: Análisis de Capacidad para Rectitud después de colocar acero.

### 3.3 Valoraciones multivariadas de los parámetros de calidad en el encofrado

A continuación se desenvuelven las gráficas multivariadas para cada uno de los casos. Se considerarán inicialmente las combinaciones antes y después de cada medición como variables autocorrelacionadas en el mismo gráfico MEWMA. Luego se harán las combinaciones de las variables Transversal y Rectitud en cada uno de los tiempos de medición antes de la colocación de las jaulas de acero.

#### 3.3.1.1 Gráficos multivariados dentro de la dimensión transversal y de la de rectitud en los momentos antes y después de colocar jaulas de acero.

Se realiza inicialmente la valoración multivariada dentro de cada dimensión para los diferentes momentos de las mediciones, es decir, antes de colocar las jaulas de acero y después de los reajustes tras la colocación de las mismas. Como son los mismos puntos a controlar, y la secuencia de medición fue cronológica según se iban conformando los encofrados o los laterales de los mismos, fue procedente realizar esta aproximación mediante el gráfico multivariado EWMA.

La figura 3.12 representa el estado de control de la dimensión transversal en sus dos momentos, notándose que existe una buena estabilidad estadística de ese proceso, independientemente del aumento de las dimensiones por reajustes en algunos puntos después de colocar el acero.

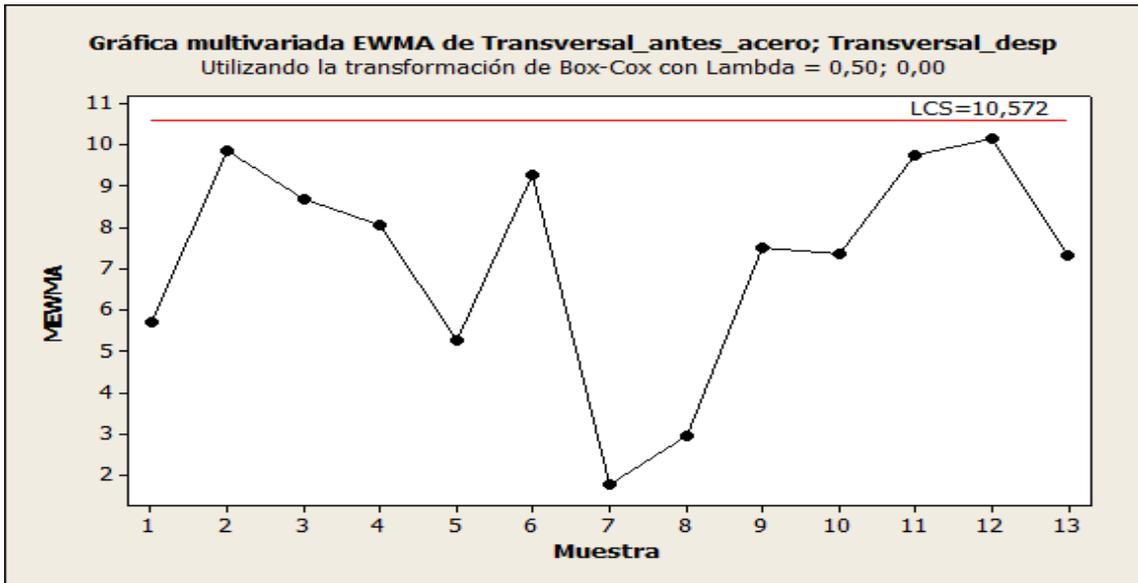


Figura: 3.12: Gráfico de control MEWMA para medida transversal antes-después de colocar acero.

El mismo caso sucede en la gráfica 3.13 perteneciente a la medida de rectitud. Es de notar que el valor del límite superior baja debido al propio valor absoluto de la medida y las medidas propias de suavizamiento ( $\lambda$ ).

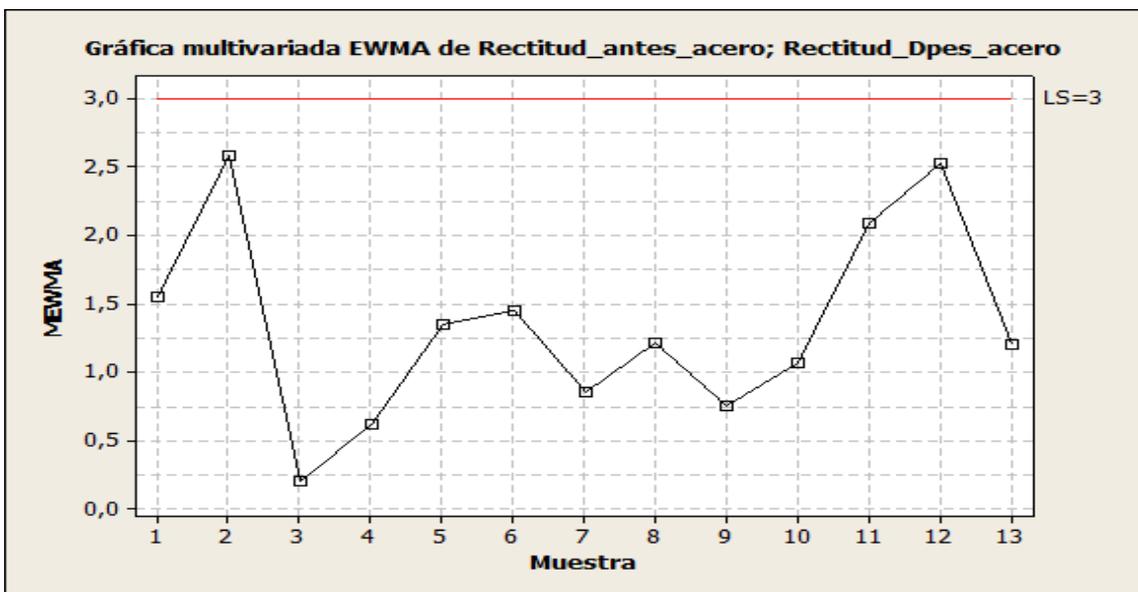


Figura: 3.13: Gráfico de control MEWMA para medida rectitud antes-después de colocar acero.

Los cambios en el comportamiento antes y después para el caso de la medida transversal en el conjunto MEWMA denotan que existe una estabilidad estadística en el proceso, independientemente de las variaciones en la medida del encofrado después de reajustes por colocación del acero.

**3.3.1.2 Gráficos multivariados entre la dimensión transversal y de rectitud en los momentos antes y después de colocar jaulas de acero.**

Se valoran ahora las interacciones de dos medidas realmente diferentes en un solo gráfico, en este caso la medida transversal y la de rectitud en cada uno de sus momentos. La figura 3.14 representa el caso MEWMA Transversal-Rectitud en su momento antes de colocar las jaulas de acero.

Es de notar que existe también estabilidad estadística en este proceso, con cierto predominio a un aumento en los últimos puntos a acercarse al límite superior.

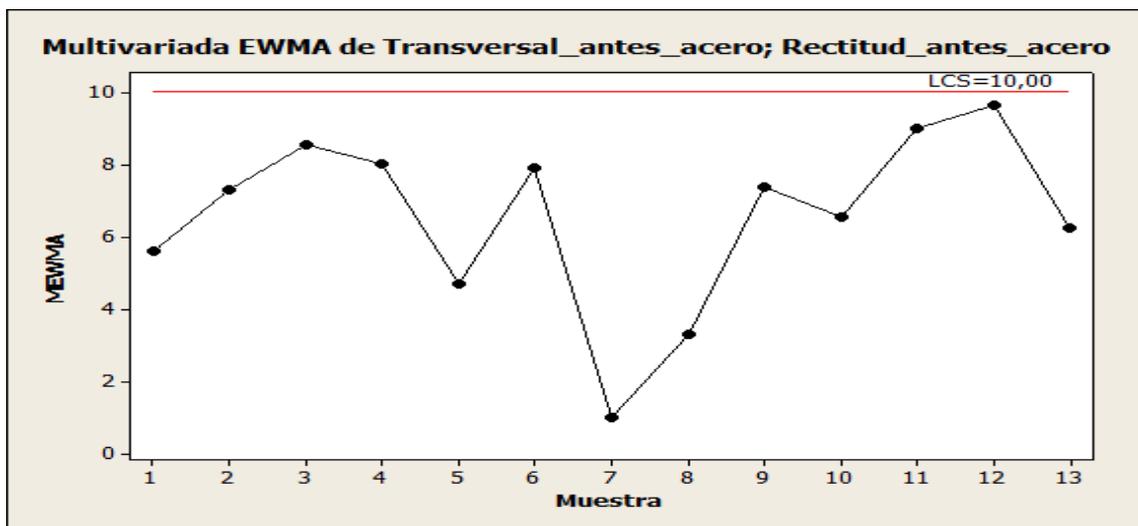


Figura: 3.14: Gráfico de control MEWMA Transversal-Rectitud antes de colocar acero.

Se valora en el gráfico 3.15 el caso de las combinaciones de variables transversal-rectitud en su momento después de colocar las jaulas de acero.

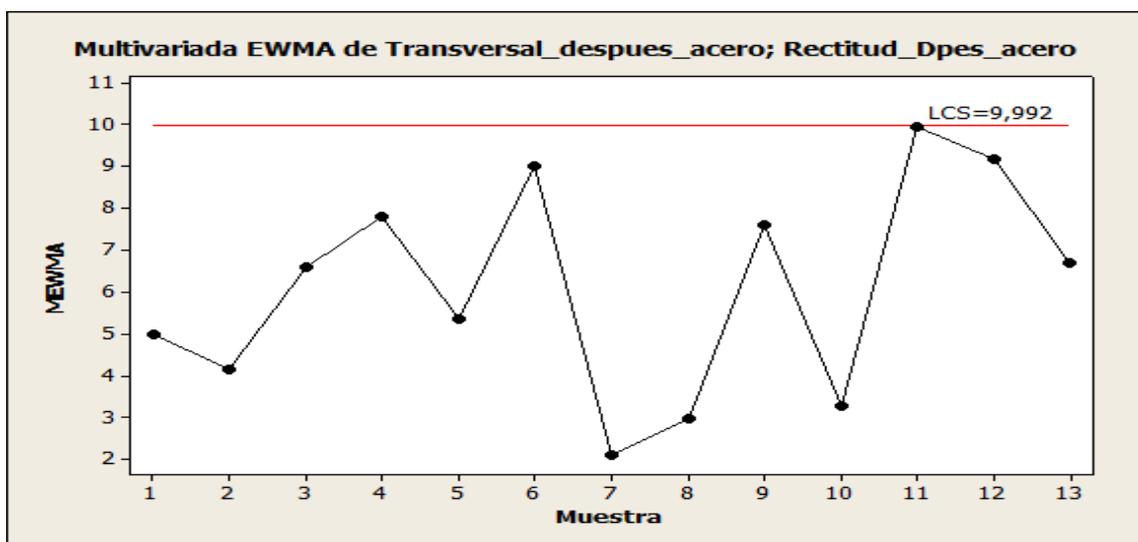


Figura: 3.15: Gráfico de control MEWMA Transversal-Rectitud después de colocar acero.

Es de notar que aún se mantienen en control estadístico con el mismo comportamiento de aproximación en los últimos momentos a acercarse al límite superior.

### 3.4 Conclusiones parciales

1. Para el análisis estadístico del proceso de encofrado se planificaron 13 puntos válidos en dos obras donde el grupo ejecutor de la brigada define que los requisitos de calidad más importantes a controlar son las dimensiones transversales y lineales, y la rectitud.
2. En el estado de control estadístico, antes y después de colocar las jaulas de acero, para la característica de dimensiones transversales y lineales se aprecia que los puntos están en control aparente donde la muestra mantiene un sentido aleatorio y en los índices de capacidad analizados se puede notar una baja probabilidad de mantener las tolerancias, es decir, el proceso no es apto.
3. Respecto a la dimensión rectitud se denota la existencia de regularidad estadística en todo el proceso de encofrado donde los índices de tolerancias en el análisis de capacidad quedan por encima de lo estipulado.
4. Los cambios en el comportamiento antes y después para el caso de las medidas transversal y lineal, y de rectitud en el conjunto MEWMA denotan que existe una estabilidad estadística en el proceso, independientemente de las variaciones en la medida del encofrado después de reajustes por colocación del acero, existiendo un predominio hacia el aumento en los últimos puntos a acercarse al límite superior.

## Conclusiones

1. La literatura internacional y nacional hacen énfasis en la importancia de los enfoques multivariados en los análisis de calidad ya que permiten examinar las variables cuando estas están altamente correlacionadas, pues las condiciones conjuntas de pérdida de control pueden ocurrir sin que ninguna viole individualmente sus límites de control al ser graficadas por separado.
2. El control y la estabilidad de los procesos enmarcados en el enfoque univariado tienen la limitante de no confrontar las interacciones entre factores, lo cual es la ventaja del enfoque multivariado el cual permite un uso más completo de la información en los procesos estudiando el comportamiento de las variables en forma simultánea.
3. En el proceso tomado como objeto de estudio, una de las actividades iniciales fundamentales en la industria de la construcción civil, el encofrado, es analizado en varias de sus dimensiones para confrontar el estado de control estadístico, siendo las dimensiones principales a controlar visualmente y por medidas.
4. El encofrado sufre variaciones tras las colocaciones de jaulas de acero, estas dimensiones valoradas antes y después de las colocaciones y reajustes de las jaulas de acero, notándose que la brigada mantiene buena estabilidad en sus procesos de encofrado, lo cual quedó demostrado por los análisis univariados.
5. El enfoque multivariado a través del Software Minitab establece combinaciones bivariadas de ambas dimensiones, demostrándose que el proceso de encofrado tiene buena estabilidad en las dichas dimensiones, lo cual quedó demostrado en los gráficos de control MEWMA, donde combinaciones óptimas del parámetro  $\lambda$  y de los valores de correlaciones entre las variables definen el límite extremo de los gráficos MEWMA.

## **Recomendaciones**

1. Seguir desarrollando aplicaciones del control estadístico y de análisis de capacidad de los procesos sobre las bases de enfoques multivariados, aumentando la cantidad de dimensiones posibles a controlar por mediciones y aquellas en las que solo se miden por control visual.
2. Emplear otros procedimientos y pruebas estadísticas no paramétricos a través del Software R-Project para completar los estudios del control estadístico y análisis de capacidad de los procesos, tanto en enfoque univariado como multivariado.

**Bibliografía**

- [1] Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. VI Congreso del Partido Comunista de Cuba 2011.
- [2] J. M. Juran, "Manual de control de la calidad," ed, 1993.
- [3] A. V. Feigenbaum, Control total de la calidad. Habana, Cuba: Ed. Revolucionaria, 1971.
- [4] A. V. Feigenbaum, "Changing concepts and management of quality worldwide," ed, 1997.
- [5] P. B. Crosby, Quality is free. New York, USA: Ed. McGraw-Hill 1979.
- [6] P. B. Crosby, Completeness. Calidad total para el siglo XXI. Ciudad de México Ed. McGraw Hill 1994.
- [7] K. Ishikawa, "¿Qué es el control total de la calidad?: La Modalidad Japonesa," ed. La Habana, Cuba, 1988.
- [8] W. E. Deming, La salida de la crisis. Calidad, productividad y competitividad. . Madrid. España: Ed. Díaz de Santos, 1989.
- [9] Oficina Nacional de Normalización, "NC-ISO 9000:2005," Ed. ISO 2005 ed. Ciudad de La Habana, Cuba, 2005.
- [10] Oficina Nacional de Normalización, "NC-ISO 9001:2015," Ed. ISO 2015 ed. Ciudad de La Habana, Cuba, 2015.
- [11] Real Academia Española. (2002, 16 de febrero). Concepto de calidad total y su evolución. Available: [www.cyta.com.ar](http://www.cyta.com.ar)
- [12] A. L. Romero. (2007, 2 de febrero). Evolución de la calidad, ISO 9000 y otros conceptos de calidad. Available: <http://www.gestiopolis.com/evolucion-de-la-calidad-iso-9000-y-otros-conceptos-de-calidad>
- [13] L. Domínguez Fragas. (2008, 2 de febrero). Propuesta de procedimiento de costos de la calidad en Audita S.A Sucursal Cienfuegos. Available: [www.eumed.net](http://www.eumed.net)
- [14] C. Lama. (2011, 2 de febrero). La Importancia de la Gestion de la Calidad. Available: [www.deproimca.com](http://www.deproimca.com)
- [15] E. Yacuzzi. (2003, 2 de marzo del 2016). ¿Tiene relevancia la gestión de calidad total? Reflexiones a la luz de las ideas de sus fundadores. 240. Available: <http://hdl.handle.net/10419/84305>
- [16] G. y. Asociados. (2016, 14 de abril). Los siete principios de gestión de la calidad según ISO 9001:2015 Available: [www.qualired.com](http://www.qualired.com)

- [17] O. M. Cospin. (2016, 2 de marzo del 2016). 7 Herramientas básicas para el control de calidad. Available: <http://www.monografias.com/trabajos7/herba/herba.shtml>
- [18] F. Cruz Nieves. (2006, 8 de marzo del 2016). Herramientas y técnicas de la calidad. Available: <http://www.gestiopolis.com/herramientas-y-tecnicas-de-la-calidad/>
- [19] P. San Miguel Alcade. (2016, 4 de febrero 2016 ). Técnicas básicas para la Gestión de la Calidad. Available: <http://inqualitas.net/articulos/477-tecnicas-basicas-para-la-gestion-de-la-calidad>
- [20] C. M. Cuadras. (2006, 8 de marzo del 2016). Nuevos métodos de análisis multivariante Available: [http://www.est.uc3m.es/esp/nueva\\_docencia/getafe/estadistica/analisis\\_multivariante/doc\\_generica/archivos/metodos.pdf](http://www.est.uc3m.es/esp/nueva_docencia/getafe/estadistica/analisis_multivariante/doc_generica/archivos/metodos.pdf)
- [21] R. B. Abernethy, R. P. Benedict, and R. B. Dowdell, "ASME Measurement Uncertainty in Fluid Measurements," ASME, vol. Vol. 58, 1987.
- [22] N. Coello, L. Wisweh, and M. Sandau, "Determinación de la Incertidumbre de la Medición y su Influencia en la Valoración y Regulación de la Calidad," ed, 1997.
- [23] L. Wisweh, "Statistical Process Control (SPC) in Quality Management," ed, 1999.
- [24] L. Wisweh, N. Coello, and H. Würpel, "Einsatzvorbereitung von Verfahren und Methoden rechnergestützter statistischer Qualitätssicherungslösungen (CAQ) zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit technologischer Prozesse," ed, 1989.
- [25] C. Anghel, "Qualität und Zuverlässigkeit " Messgeräteeignung im Prozess, pp. 457 - 459, 1997.
- [26] M. Sandau and L. Wisweh, "Wissensbasierte Anwendung statistischer Auswerteverfahren," ed, 1996.
- [27] M. Sandau and L. Wisweh, "Ermittlung der Messunsicherheit und ihre Handhabung zur Qualitätsbewertung und -regelung," ed, 1997.
- [28] J. F. McGregor, "Online statistical process control," Chemical Engineering Progress., 1988.
- [29] H. Würpel, L. Wisweh, and N. Coello, "Zur Berechnung von statistischen Vorlaufanalysen für die rechnergestützte Qualitätssicherung," ed, 1989.
- [30] L. Wisweh and H. D. Schmidt, "Möglichkeiten und Grenzen der statistischen Prozessbewertung und -regelung von Klein- und Mittelserien mit CAQ-Software," ed, 1995.

- [31] D. Peña, A. Ruiz Falcó, and D. Díez, "Los métodos estadísticos en la gestión de calidad en las empresas españolas," *Trabajos de Estadística*, vol. Vol. 5, pp. 53-71, 1990.
- [32] J. F. Muth, "Optimal properties of exponentially weighted forecasts of time series with permanent and transitory components," *Journal of the American Statistical Association.*, 1960.
- [33] S. W. Roberts, "Control chart test based on geometric moving averages," ed, 1959.
- [34] W. A. Shewhart, "Economic Control of quality of manufacturing product," ed, 1931.
- [35] A. Luceño, "Statistical Control by Monitoring and Feedback Adjustment," ed, 2000.
- [36] G. M. Jenkins and J. F. MacGregor, *Some recent advances in forecasting and control*, Ed. 3 ed., 1975.
- [37] F. W. Faltin, G. J. Hahn, W. T. Tucker, and S. A. Vander Weil, "Algorithmic statistical process control: some practical observations," ed, 1993.
- [38] J. S. Hunter, "A one-point plot equivalent to the Shewhart Chart with Western Electric rules," *Quality Engineering*, 2, 1989.
- [39] V. Aguila Cabrera, "El concepto calidad en la educación universitaria: Clave para el logro de la competitividad institucional," ed, 2005.
- [40] L. Araya Vidal. (2011, 2 de febrero). Evaluación organizacional de la excelencia docente. . Available: [www.blogger.com](http://www.blogger.com)
- [41] D. H. Besterfield, *Control de calidad*, Octava edición ed. México: Ed. Prentice Hall, 2009.
- [42] J. L. Caballano, "Fundamentos y conceptos. Sistema de la calidad," ed, 1999.
- [43] Y. Capote Suárez, "Evaluación de la estabilidad y el control estadístico en los procesos de la cadena de suministros de los almacenes de medicamento de Villa Clara," Tesis de trabajo de diploma, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba, 2009.
- [44] R. Cespón Castro. (2003, 16 de febrero). Reflexiones sobre logística inversa. Available: <http://www.upct.es/~gio/Reflexiones%20sobre%20logistica%20inversa.htm>
- [45] B. S. Dhillon, *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*. United States of America: Ed. CRC Press, 2005.

- [46] A. V. Feigenbaum, "Control total de la calidad," ed. La Habana, Cuba, 1971.
- [47] M. A. Flores Sánchez, "Proyecto presentado para el cumplimiento de los requisitos para culminar el Máster en Técnicas Estadísticas de la Universidad de La Coruña", ed, 2013.
- [48] P. Giugni. (2009, 2 de febrero). La Calidad como filosofía de Gestión. Available: [www.pablogiugni.com.ar](http://www.pablogiugni.com.ar)
- [49] J. J. Guilló Tarí, Calidad total:fuente de ventaja competitiva: Ed. Publicaciones Universidad de Alicante, 2001.
- [50] L. R. Ireland, Quality Management for Projects and Programs. Pennsylvania, USA: Project Management Institute, 1991.
- [51] Y. Malevski and A. Rozotto. (2003, 15 de febrero). Manual de Gestión de la Calidad Total a la Medida. Available: [http://www.science.oas.org/OEA\\_GTZ/LIBROS/CTM/ctm.htm](http://www.science.oas.org/OEA_GTZ/LIBROS/CTM/ctm.htm)
- [52] P. D. Mauch, Quality Management: Theory and Application. United States of America: Ed. CRC Press, 2010.
- [53] H. Mendoza, "Procedimiento para la selección de expertos," in Procedimiento para la toma de decisiones en la Tercerización del Mantenimiento. Aplicación en el Hotel Santa Clara Libre, A. Rodríguez Ortega, Ed., ed. Santa Clara, Cuba, 2003.
- [54] J. G. Moreno Ordaz, "Análisis multivariante en investigaciones de calidad del servicio," Revista venezolana de análisis de coyuntura, vol. Vol. 11, pp. 275-308, enero-junio 2005, Caracas, Venezuela 2005.
- [55] J. Mosquera Restrepo, J. Olaya Ochoa, and R. Escobar, "Aplicación del control estadístico multivariante en un proceso de Extrusión de película plástica " Scientia et Technica, vol. Vol. 13, pp. 333-338, 2007.
- [56] J. P. Pekar, Total Quality Management: Guiding Principles for Application. Philadelphia: Ed. American Society for Testing and Materials, 1995.
- [57] E. Ponsati Griful and M. Á. Campos Canela, Gestión de la calidad. Barcelona, España: Ed. UPC, 2002.
- [58] J. M. Prats Montalbán, "Control Estadístico de Procesos mediante Análisis Multivariante de Imágenes," Tesis presentada para optar el título de doctor, Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2005.

- [59] H. Pulido Gutierrez and R. Salazar de la Vara, Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma. México, D.F: Ed. Mc Graw Hill, 2004.
- [60] R. Pupo Jova, "Aplicación de un procedimiento de gestión de riesgos para la calidad en la cadena de suministro de la croqueta conformada en Pescavilla.," Tesis de trabajo de diploma, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba, 2013.
- [61] J. Varela Mallou, "Contextualización y revisión general de las técnicas multivariantes," ed, 2014.
- [62] L. Wisweh, "Statistical Process Control (SPC) in quality management," ed, 2009.
- [63] M. Yglesias Pimienta, "Calidad en la Gestión del Proceso de Extensión Universitaria en la UCLV," Tesis de trabajo de diploma, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba, 2008.

## Lista de Anexos

### **Anexo I: Resoluciones de Construcción (RC) apropiada a cada proceso constructivo**

Las resoluciones de la construcción son las normas para construir por las cuales se guían todos los implicados para la correcta realización de todos los procesos para el desarrollo eficiente de la obra. A continuación se hace mención a lo planteado anteriormente.

1. Movimiento de Tierra. Las Resoluciones de la Construcción vigentes para el proceso son: RC-3001 Chapea, desbroce y tala de árboles, RC-3202 Demolición de elementos estructurales de hormigón; en la mampostería y pavimentos flexibles se emplean, RC-3004 Excavaciones en fosos, RC-3005 Excavaciones para zanjas, RC-3006 Excavaciones para explanaciones, RC-3008 Excavaciones en préstamos, RC-3010 en el rehinchó en zanjas para conductos y cimentaciones se emplean RC-3011 Relleno general, RC-3013 Terraplenes para obras viales, RC-3020 Preparación de la subrasante.
2. Cimentaciones. Las Resoluciones de la Construcción vigentes para el proceso son: RC-3031 Cimientos corridos, RTC-1 Control de la Calidad del Hormigón, RC-3032 Cimientos aislados, RC-3029 Hincas de pilotes y tablestacas, RC-3030 Pilotes hormigonados en la obra, RC-3033 Relleno de pilotes metálicos.
3. Estructuras. Las Resoluciones de la Construcción vigentes para el proceso son: RC-3034 Preparación y transporte, RC-3035 Colocación, compactación, acabado y curado, RC-3036 Elaboración y colocación del acero de refuerzo, RC-3037 Encofrados de madera, RC-3084 Muros y tabiques de bloques de hormigón, DITEC: Documento de idoneidad técnica del suministrador, RTC-1 Control de la Calidad del Hormigón.
4. Albañilería gruesa. Las Resoluciones de la Construcción vigentes para el proceso son: RC-3084 Muros y tabiques de bloques de hormigón, RC-3086 Colocación de marcos de madera, RC-3128 Salpicado y resano de paredes, RC-3129 Repello directo, RC-3150 Elaboración de morteros para albañilería.
5. Albañilería de acabado. Las Resoluciones de la Construcción vigentes para el proceso son: RC-3123 Pisos de losetas hidráulicas y baldosas de terrazo, RC-3124 Pulido y brillo de pisos de baldosas de terrazo, RC-3125 Pisos de hormigón, RC-3126 Pisos de terrazo integral, RC-3127 Azulejos en pisos, RC-

3130 Fino sobre resano, RC-3131 Azulejos en paredes, RC-3132 Enlucidos, RC-3133 Marmolejos, RC-3150 Elaboración de morteros para albañilería, RC-3187 Colocación de losas de piedra jaimanitas, DITEC: Documento de Idoneidad Técnica del Suministrador, RC-3134 Enrajonado en cubiertas, RC-3135 Soladura en azoteas, RC-3136 Impermeabilización Built-Up en cubiertas, RC-3137 Impermeabilizaciones varias, RC-3179 Membrana prefabricada Lamisfal y Lamisfal Alú, RC-3191 Impermeabilización de cubiertas con fieltro saturado, RC-3192 Sistema de impermeabilización con tejas criollas, RC-3193 Sistema de impermeabilización con tejas francesas. Es importante destacar la realización del (DITEC) Documento de Idoneidad Técnica del Suministrador

6. Albañilería seca o en cubiertas: Esta tecnología no se produce en el país ni se dispone de RC, por lo tanto en las obras donde se utilicen el Contratista General exigirá al suministrador el documento de idoneidad técnica (DITEC) correspondiente según lo establecido en la resolución ministerial No 933/99, el cual le ofrece las indicaciones técnicas para la ejecución.
7. Instalaciones de sistemas: Hoy en el mercado existen distintos materiales para la ejecución de los sistemas de instalaciones no contemplados en las RC disponibles, por lo tanto en las obras donde se utilicen el Contratista General exigirá al suministrador el documento de idoneidad técnica (DITEC) correspondiente según lo establecido en la resolución ministerial No 933/99, el cual le ofrece las indicaciones técnica para su ejecución. Se muestran algunas recomendaciones a partir de experiencias obtenidas, RC-3110 Tuberías plásticas sobre losa doble T, RC-3111 Tuberías plásticas sobre losa Spiroll, RC-3113 Tuberías plásticas para salidas de piso, RC-3114 Bajante plástico expuestos, RC-3117 Sistema de protección contra descarga atmosférica, RC-3118 Paneles de alumbrado y fuerza menor, RC-3119 Cableado para iluminación y fuerza menor en interiores, RC-3120 Empalmes para iluminación y fuerza en interiores, RC-3121 Conexión y montaje de luminaria y otros artefactos, RC-3122 Bajantes plásticos empotrados, RC-3100 Construcción acueductos, RC-3101 Tuberías alcantarillado y drenaje urbano, RC-3102 Tubos asbesto cemento. Montaje, RC-3103 Prueba final de acueducto, RC-3104 Pruebas parciales de presión y fuga de tuberías en obra, RC-3105 Tubería de cobre del tipo soldable, RC-3106 Tubería

de acero galvanizado, RC-3107 Instalaciones sanitarias y pluviales. Instalación en edificios, RC-3108 Instalaciones sanitarias-muebles, RC-3109 Sistema de gases medicinales en edificios para la salud, RTC-3 2005 Exigencias para el diseño y montaje de las instalaciones hidráulicas y sanitarias en las edificaciones, RC-3105 Tubería de cobre soldables, RC-3106 Tubería de acero galvanizado

8. Montaje de equipos tecnológicos: Para su ejecución no se dispone de RC, se ejecutan los trabajos a partir de la documentación técnica de proyecto, la de los suministradores y los DITEC que existan.
9. Áreas exteriores: Las recomendaciones que se darán estarán basadas en experiencias obtenidas, las RC disponibles, la documentación de proyecto y los documentos de idoneidad técnica (DITEC) de los suministradores. Estos trabajos se ejecutan paralelamente al de los edificios según la secuencia establecida. Las referencias empleadas en cuanto a las regulaciones en la construcción son, RC-3020 Preparación subrasante, RC-3024 Losa para pavimento de hormigón hidráulico, RC-3027 Contén simple y cuneta integral, RC-3028 Aceras de hormigón hidráulico, RC-3100 Construcción acueductos, RC-3101 Tuberías de alcantarillado y drenaje urbano, RC-3102 Tubos de asbesto cemento, montaje, RC-3103 Prueba final de acueducto, RC-3104 Pruebas parciales de presión y fuga de tuberías en obras
10. Trabajos de terminaciones: Las recomendaciones que se darán estarán basadas en experiencias obtenidas, las RC disponibles, la documentación de proyecto y los documentos de idoneidad técnica (DITEC) de los suministradores. Las recomendaciones a partir de experiencias obtenidas en las regulaciones de la construcción son, RC-3138 Colgado de carpintería, RC-3140 Colocación de vidrios, RC-3141 Cierres de aluminio, RC-3143 Aplicación de pinturas al temple, RC-3144 Aplicación de pinturas de vinil, RC-3145 Aplicación de pinturas de aceite, RC-3146 Aplicación de pintura anticorrosiva

## proceso constructivo

Procesos	Documentos de trabajo	Utensilios o herram.	Características a controlar
Excavación en zanjas o fosos	RC:3005 RC:3004	Cinta métrica, pico, pala, barreta, soga, cubos. Retroexcavadora de ser posible.	1. Replanteo. Chequear que las referencias ejes, ángulos, dimensiones, y cotas estén de acuerdo con el proyecto aprobado. 2. Fondo de la excavación. Cuando se trate de excavaciones en terrenos que no sea roca sólida, se establece un punto de control antes de excavar la última capa (0,10-0,15 m) a fin de verificar si la calidad del suelo corresponde con la especificada en el proyecto. 3. Terminación. Se chequearán las dimensiones cotas y profundidad etc., según el proyecto, así como el perfilado correcto de los taludes. Que tenga las dimensiones y/o formas establecidas por el proyecto.
Reinchos	RC:3010	Cinta métrica, pala. Retroexcavadora de ser posible.	1. Inspección y comprobación de que los equipos de excavación, o vehículos de carga estén ubicados o circulando a una distancia no menor de 2/3 de la altura de la zanja excavada, en el caso de que ésta no tenga el entubamiento adecuado para resistir esta sobrecarga o exista otra especificación dada por el proyectista. 2. Inspección y comprobación del cumplimiento de las especificaciones de calidad del material, así como de su selección según lo establecido por esta R.C., o lo especificado en proyecto. 3. Verificar que el acopio de material para el rehíncho cumpla los requisitos establecidos la R.C. 4. Comprobar que las herramientas y equipos a usar estén en función de los espesores o capas de material y la clase de tubería a rehinchar, según lo establece la R.C Que tenga las dimensiones y formas establecidas por el proyecto
Elaboración de hormigón, colocación, compactación y curado	RC:3034 RC:3031 RC:3035 RC:3032 Tabla de Dosificac.	Nivel Cinta métrica Plomada Pala Hormigonera eléctrica. Vagón o carretilla	1. Los materiales deben ser cuidadosamente medidos antes de ser vertidos en el cilindro o tambor si el agua se vierte conjuntamente con los demás materiales no es indispensable el tanque. Deben tener algún medio preciso para comprobar el tiempo que los materiales han estado en la mezcladora. 2. Que el hormigón ensayado en el cono de Abrams cumpla el asentamiento indicado en su parámetro técnico. 3. El mezclado debe comenzar a más tardar 30 minutos después que el cemento haya sido puesto en contacto con los agregados húmedos. Este tiempo debe reducirse a la mitad cuando se emplean cementos de endurecimiento rápido, y podrá prolongarse cuando el cemento se ponga en contacto con agregados secos.

			<p>4. Se recomienda un período de tiempo no mayor de 1,5 horas entre el instante en que se añada el agua y aquel en que se descargue el hormigón definitivamente; este tiempo podrá prolongarse a 2 horas en condiciones especialmente favorables y deberá reducirse cuando se era Alean materiales que aceleran el fraguado.</p> <p>5. Tamaño máximo del árido, relación agua cemento, resistencia del hormigón</p>
Encofrado	RC:3037	Cinta métrica Nivel Plomada Martillo SERRUCHO	<p>Los encofrados cumplirán los siguientes requisitos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Situación (en alineación y altura).</li> <li>2. Forma y dimensiones (de acuerdo con el proyecto).</li> <li>3. Será estanco, sin grietas, huecos u otras imperfecciones.</li> <li>4. La superficie interior perfectamente limpia y lisa o de acuerdo al acabado final que tendrá el hormigón.</li> <li>5. Se construye de manera tal que puedan removerse parcialmente sin afectar la estabilidad del conjunto.</li> </ol>
Colocación de Acero	RC:3036	Cinta métrica Segueta Lijadora eléctrica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Corte: Calidad, diámetros, longitud</li> <li>2.Doblado: diámetro, dimensiones, ganchos, uniones</li> <li>3.Previo al hormigonado: Colocación de armaduras: número de barras, distancia entre barras anchadas, solapes recubrimientos, calzos, sujeción, limpieza.</li> <li>4.Durante el hormigonado: Juntas de hormigonado, posición del refuerzo y materia: de las juntas.</li> </ol>
Montaje de losa prefabricada	RC:3042 RC: 3176	Cinta métrica Eslinga Soga, Nivel, grúa	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Todas las juntas estarán completamente llenas de hormigón o mortero, según el caso. Los elementos estarán perfectamente situados, alineados, aplomados y nivelados.</li> <li>2.Los insertos que quedan expuestos recibirán una protección de tres manos de pintura anticorrosiva.</li> <li>3.Estarán colocadas las barreras contra el agua (láminas metálicas o plásticas y hermetizadas las juntas verticales desde el interior del edificio</li> <li>4.Ubicación. Alineación, Nivelación, Tolerancia,</li> <li>5.Colocación de puntales</li> </ol>
Impermeabilizaciones varias		Cuchara de albañil, picoleta, cuchilla para cortar, cinta métrica, flameador a gas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Replanteo: Se replanteará la colocación del fieltro en su extensión longitudinal en relación coincidente al local y previendo el arranque lateral desde una altura de 100 mm en el plano vertical y montas de 100 mm entre fieltros, hasta cubrir el área. Sólo ha de ser necesario replantar la primera pieza, marcando 900 mm en el plano horizontal a partir de la pared por donde ha de iniciarse el trabajo.</li> <li>2.Aplicación del aparejo asfáltico: Deberá cumplir las especificaciones señaladas en el Catálogo de la Construcción. CUP: 458-1-01.</li> <li>3.Colocación de la manta: tener en cuenta la junta y la soldadura mediante calor.</li> <li>4.Remates: En los encuentros de planos verticales con horizontales, pasillos y pared colindante, tapa de cisterna sobre muro vertical, etc., y siempre que la pieza de manta colocada horizontalmente no se haya extendido hasta</li> </ol>

			<p>cubrir el plano vertical, se ha de colocar una pieza que cubra esta junta de ambos fieltros y cubra no menos de 100 mm en el plano vertical y 200 mm en el horizontal. Debe preverse que los ángulos a cubrir por los remates sean ochavados, libres de aristas.</p> <p>Todo perfil vertical (tubo de reventilación en cisterna) o construcción sobre plano horizontal, (muro para boca o tapa de hierro en cisterna), debe ser objeto de remate en todo su perímetro con una pieza de manta a 100-250 mm de altura y 250 mm en el plano horizontal.</p> <p>5.Terminaciones: La manta tiene que quedar pegada en toda su área, no puede quedar ondulaciones, uniformemente cortada, limitar al máximo el tránsito de personas por encima de la manta.</p>
<p>Instalación hidráulica</p>	<p>RC:3106 RC:3104 RC: 3103</p>	<p>Bomba de prueba Manómetros Cinta métrica Tapones Llaves de expansión Picoloro Terrajas</p>	<p>1. Antes de iniciar la preparación de los materiales se comprobará que el replanteo ha sido realizado de acuerdo a lo especificado en la documentación del Proyecto correspondiente. Se verificará la ubicación exacta de los ejes horizontales y verticales de las tomas de agua para evitar desplazamientos que dificulten la instalación de muebles sanitarios y aparatos.</p> <p>2. Antes de iniciar el montaje de la instalación se comprobará lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Que los diámetros de los tubos y tomas o salidas de agua, son los especificados en la documentación del proyecto correspondiente.</li> <li>- Que los cortes de los tubos han sido realizados a escuadra.</li> <li>- Que los tubos cortados poseen las medidas requeridas.</li> <li>- Que las longitudes de las roscas no sobrepasan las medidas justamente necesarias.</li> <li>- Que las superficies exteriores e interiores de los extremos roscados están totalmente limpios de virutas y de aceite.</li> </ul> <p>Antes de iniciar las pruebas parciales se comprobará lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Que están colocados y perfectamente alineados todos los tubos de la instalación, han sido realizadas las uniones correspondientes por medio de conexiones y están colocadas todas las grapas o colgadores (caso de tuberías colgadas).</li> <li>- Que están colocados los separadores correspondientes en todos los casos de tuberías soterradas.</li> <li>- Que en el área a probar están todas las tomas o salidas de agua por medio de niples roscados con sus correspondientes tapas.</li> </ul> <p>Antes de iniciar la terminación se comprobará lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Que está realizada la prueba parcial con resultados positivos.</li> </ul>

			<p>3. Antes de iniciar el recubrimiento o rehíncho se comprobará que todas las instalaciones han sido protegidas con los recubrimientos especificados en el proyecto correspondiente.</p> <p>Antes de iniciar la prueba total se comprobará que han sido cumplidos los requisitos especificados, en la RC-3108, Instalaciones sanitarias. Muebles</p> <p>Que las uniones estén perfectamente roscadas y que correspondan los diámetros con el proyecto</p>
Muros	<p>RC:3150</p> <p>RC:3085</p> <p>RC:3084</p> <p>RC: 3178</p>	<p>Cinta métrica</p> <p>Plomada, Cuchara de albañil, Nivel, vagón o carretilla</p>	<p>Comprobar en la hilada de replanteo:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coincidencia de los ejes con los contenidos en el proyecto.</li> <li>2. Horizontalidad y alineación. Se admite una tolerancia de 3 mm en distancias hasta 6 m para ambos paramentos.</li> <li>3. Espesor de las juntas: Deben ser uniformes, no mayores de 15 mm ni menores de 5 mm.</li> <li>4. Posición de los vanos ó marcos ya colocados: Tanto su aplome, alineación, como el espesor para el revestimiento, debe ser entre 15 y 5 mm.</li> <li>5. Cuando existan paredes formando ángulo de 90° se comprueba la perpendicularidad entre ellas, colocando la escuadra de 600 mm. No debe existir separación visible entre los lados de dicha escuadra y los paramentos correspondientes. <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <u>Comprobar los puntos guías iniciales:</u> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posición, verticalidad y firmeza de las perpendiculares (cordeles guías verticales) en caso de paredes entre columnas u otros elementos verticales.</li> <li>2. Aplome de los puntos guías: Se comprueba la verticalidad por medio de la plomada, con referencia a la hilada de replanteo.</li> <li>3. No coincidencia de las juntas verticales (excepto que el proyecto así lo especifique en paredes "en vista"). El solape de los ladrillos no debe ser menor de 120 mm.</li> </ol> </li> </ul> </li> </ol>
Instalaciones sanitarias	<p>RC:3107</p> <p>RC:3101</p> <p>NC52-030</p> <p>NRMC024</p> <p>NRMC023</p>	<p>Cinta métrica,</p> <p>corta tubo</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Antes de iniciar la preparación de los materiales. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se comprobará que el replanteo ha sido realizado de acuerdo a especificado en la documentación de proyecto. Se verificará la ubicación exacta de los ejes horizontales y verticales de los desagües para evitar desplazamientos que dificulten el montaje de los muebles sanitarios y otros componentes.</li> </ul> </li> <li>2. Antes de iniciar el montaje de la instalación se controla lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Que el diámetro de los tubos y salidas del agua sean las especificadas en la documentación de proyecto.</li> <li>- Que los cortes de los tubos estén realizados a escuadra con sus ejes.</li> <li>- Que los tubos cortados tengan la medida especificada por la documentación de proyecto.</li> </ul> </li> </ol>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Que el interior del tubo esté limpio de viruta, arena, u otro material.</li> <li>3. Antes de iniciar las pruebas parciales se controlará lo siguiente.             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Que estén montados y perfectamente alineados todos los tubos de la instalación.</li> <li>- Que estén realizadas las conexiones correspondientes y estén colocadas todas las grapas o colgadores cuando así lo establezca la documentación de proyectos.</li> <li>- Que en el área a probar estén taponadas todas las salidas de agua.</li> </ul> </li> <li>4. Antes de iniciar la prueba total se controlará lo siguiente:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Que estén realizadas las pruebas parciales con resultados positivos (que no existan fugas en la instalación).</li> <li>- Que estén montados todos los muebles sanitarios y aparatos.</li> <li>- Que el sistema esté conectado a la fuente de abastecimiento hidráulico.</li> </ul> </li> </ul>
Revoques	RC:3130 RC:3150 RC:3128 RC: 3129 NC52-031	Cinta métrica Plomada Nivel, cuchara, frotta de madera y de goma, vagón o carretilla	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Antes del llenado de paños. Se verificará:             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Que el espesor del mortero de las maestras y reglas guías no sea mayor de 15 ni menor de 5 mm.</li> <li>2. Que la perpendicularidad de las maestras y reglas guías utilizando la plomada o el nivel, se aceptará una desviación de <math>\pm 5</math> mm en una distancia vertical de 3 mm</li> <li>3. Que la alineación de las maestras y reglas guías, repitiendo la operación de extender los cordeles, (tal como se ejecutó en la construcción de maestras) no existirán desviaciones de <math>\pm 3</math> mm entre 2 maestras consecutivas.</li> <li>4. La perpendicularidad entre las reglas colocadas en los dinteles con las de los derrames.</li> </ol> </li> <li>Colocando la escuadra en el ángulo formado por dichas reglas, no se apreciarán visualmente desviaciones.</li> </ul>
Colocación de pisos	RC:3123 RC:3124 NC52-035 RC:3125 RC:3126	Cinta métrica , Nivel Escuadras, maquina de corte eléctrica, vagón o carretilla	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Al inicio del replanteo de las losas.             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se verificará la nivelación del atesado admitiéndose desviaciones no mayores de <math>\pm 5</math> mm con respecto a las cotas del proyecto, incluyendo los niveles de salidas de instalaciones (registros, tragantes, etc.) y las eventuales pendientes.</li> <li>- Se verificará el tipo de material calizo del atesado y su compactación</li> </ul> </li> <li>2. Al inicio de la construcción de maestras.             <ul style="list-style-type: none"> <li>- el replanteo en seco de las losas y la repartición definitiva que llevarán las maestras principales estará terminado.</li> <li>- Las losas a utilizar para las maestras se habrán escogido y humedecido previo su uso.</li> </ul> </li> <li>3. Al inicio de la colocación de rodapiés             <ul style="list-style-type: none"> <li>- La construcción de las maestras perimetrales estará terminada y las juntas entre estas y los muros completamente llenos de derretido y al nivel del piso.</li> </ul> </li> </ol>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los muros estarán revestidos según indicación de proyecto.</li> <li>- Los rodapiés se habrán humedecido con antelación.</li> </ul> <p>4. Al inicio del llenado de paños.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se comprobarán las alturas de las maestras mediante un metro o vitola, verificando que en las distancias entre los puntos de referencia que sirvieron para su replanteo y la superficie terminada de estas, no existan diferencias mayores de <math>\pm 1</math>mm.</li> <li>- Se verificará el nivel horizontal de las maestras por medio de una regla y nivel de burbuja y la perpendicularidad entre las maestras secundarias y principales por medio de la escuadra, no admitiéndose en ninguno de los casos desviaciones mayores de 1 mm en 1 m.</li> <li>- Se verificará con el metro que el espesor del mortero de asiento de las losas, esté entre 25-30 mm como que las juntas de las losas de pasillos, accesos, etc. coincidan visualmente con las de las maestras.</li> <li>- Se verificará la alineación y perpendicularidad de los rodapiés, así como el espesor del mortero de asiento y coincidencia de sus juntas con las del piso.</li> <li>- Se comprobará que las losas a colocar hayan sido previamente humedecidas y que están listos los materiales y condiciones para preparar el mortero de asiento.</li> </ul> <p>5. Al inicio de la aplicación del <u>derretido</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Antes de la aplicación del derretido deberán haber transcurrido no menos de doce (12) horas de la terminación de la colocación de losas en el llenado de paños.</li> <li>- Se comprobará la no existencia de losas despuntadas, partidas o con las aristas o superficies dañadas así como de losas con manchas o variaciones de color apreciables.</li> <li>- Se verificará por última vez la coincidencia de las juntas y la ausencia de saltillos entre losas, así como la uniformidad de altura y nivel del piso.</li> </ul>
<p>Enchape de azulejos</p>	<p>RC: 3131 RC: 3127 RC:3133 RC:3147 NRMC046 NC52-023 NC52-036</p>	<p>Cinta Regla Nivel Cucharas Escuadra Cordel Plomada Lima Corta vidrio o diamante Tenaza Cepillo de raíz Hacha Cinzel Cajón de albañil</p>	<p>Antes del llenado de paños.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comprobar la concordancia con el proyecto del nivel de piso determinado por la primera hilada o listón de replanteo. Se admitirá una tolerancia de <math>\pm 2</math> mm.</li> <li>2. Comprobar la perpendicularidad de las hiladas verticales (maestras verticales) con la hilada horizontal de replanteo, por medio de una escuadra de 600 mm. No existirán desviaciones apreciables a simple vista entre las losas y los bordes de la escuadra.</li> <li>3. Comprobar la horizontalidad de los paños.</li> <li>4. Comprobar la verticalidad de las maestras. Por medio de una regla apoyada en la superficie (verticalmente) y un nivel de burbujas no existirán desviaciones mayores de <math>\pm 1</math>mm por cada metro lineal.</li> </ol>

		<p>Cubo Brocha Separadores plásticos o palillos de madera Tela de yute o estopa Sierra eléctrica con disco de tungsteno</p>	<p>5. Comprobar que no existan saltillos entre losas y que el espesor de las juntas se mantenga entre 1 y 2 mm. 6. Comprobar que el espesor del mortero de colocación se mantenga entre 10 y 15 mm. 7. Comprobar que no existan oquedades entre las losas y el mortero de su colocación.</p>
Colocación de muebles sanitarios	<p>RC:3108 RC:3173</p>	<p>Cinta métrica. Nivel, taladro eléctrico</p>	<p>Antes de iniciar la prueba de funcionamiento se comprobará lo siguiente:</p> <p>a) Inodoro: que la taza esté firmemente asentada y nivelada y el tanque firmemente acoplado y nivelado. b) Lavamanos: que esté rígido y nivelado. d) Urinario: que esté asentado firmemente en la pared y nivelado. e) Que están ejecutadas todas las tomas de agua y los desagües de los muebles. f) Que están instalados todos los herrajes de los muebles sin presentar abolladuras ni ralladuras.</p> <p>Antes de iniciar las terminaciones se comprobará que ha sido realizada la prueba total o final de funcionamiento correspondiente.</p>
Pintura en muros y carpintería	<p>RC:3143 RC:3145 RC: 3144</p>	<p>Brochas, rodillos</p>	<p><b>PUNTOS DE CONTROL</b></p> <p>1. Protección de pisos y carpintería 2. Acondicionamiento y limpieza de las superficies donde se aplicará la pintura. 3. Selección y preparación de pinturas. Para la selección de pintura transcribimos lo recomendado por el fabricante de la pintura, aunque en todos los casos debe respetarse lo estipulado en el proyecto. 4. Aplicación de pintura de vinyl Siempre que se aplique pintura en un local, ésta se empezará por el techo, pues de lo contrario las salpicaduras estropearán los trabajos realizados en paredes. 5. Limpieza del área de trabajo Una vez concluida la aplicación de pintura, se procederá a retirar todos los medios de protección empleados, dejando completamente limpios, tanto los pisos como la carpintería. Las superficies pintadas no podrán lavarse hasta los 30 días posteriores a su aplicación.</p>
Colgado de carpintería	<p>RC:3138 RC:3140 RC:3141</p>	<p>Cinta métrica Plomada Nivel Taladro</p>	<p>1. Las ventanas se pueden colocar, solas o en conjuntos, los cuales se formarán por la unión horizontal y/o vertical de las ventanas individuales. El tipo de unión a emplear estará determinado por las dimensiones del conjunto. 2. Todas las ventanas presentarán una holgura con el vano entre 1 y 2 mm que permitirá la aplicación de masilla acrílica en todo el perímetro, a fin de impedir la penetración del agua.</p>

			<p>3. Las ventanas se fijarán a los muros y vigas por medio de tornillos tirafondos, cabeza redonda de 50 a 75 mm (2 a 2½").</p> <p>4. Se coloca la o las puertas (caso de ser de dos hojas) se comprueba el nivel y retirándose la o las puertas se procede a barrenar la pared donde se haya marcado anticipadamente para fijar el marco con tornillos tirafondo de 3½" y sus correspondientes expansiones.</p> <p>5. El marco debe fijarse a la pared con 4 tornillos en cada hueco como mínimo a idéntica distancia desde piso a cabezal y éste se anclará con dos tornillos equivalente a hoja de puertas.</p> <p>6. Deberá comprobarse el correcto giro de la o las hojas. La holgura inferior entre piso y canto no será mayor de 5 mm.</p> <p>7. Los largueros que conforman el marco no deben estar separados del piso más de 5 mm.</p>
Colocación de falso techo	RC:3142	Cinta métrica Plomada Nivel, taladro eléctrico	<p>1. Revisar la nivelación horizontal y a la alineación de los perfiles:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- con la ayuda de una vitola se comprobará que la altura dada por proyecto se ha cumplimentado en: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) luminarias y restantes salidas de las instalaciones proyectadas.</li> <li>b) En el centro o eje de cada rectángulo de 20 m que conforme el local no permitiéndose diferencias de 5 mm x 2 m2.</li> </ul> </li> <li>- la alineación de los perfiles se comprobará con la colocación de cordeles desde los puntos de replanteo longitudinal y transversal, cada tres perfiles, procediendo a la corrección necesaria, no permitiéndose desviaciones mayores de 5 mm en 5 000 mm de líneas.</li> </ul>
Instalación eléctrica	RC:3119 RC:3120 RC:3118 RC:3121 RC:3122 RC: 3114 RC:3117	Cinta métrica - Alicates - Pinzas - Cuchilla - Juego de destornilladores - Voltímetro	<p>1. Antes de iniciar la perforación de la caja, se comprobará el número total de tubos que entran en cada cara del panel, su posición y sus respectivos diámetros.</p> <p>2. Antes de iniciar la fijación de la caja se comprobará lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verticalidad y altura de montaje (por inspección ocular) de la caja antes de fijarla a la pared,</li> <li>- Que la caja no está invertida, es decir, con la parte de arriba hacia abajo.</li> <li>- Profundidad de montaje de la caja, teniendo en cuenta el tipo de tapa y la terminación especificada para la pared.</li> <li>- Que están colocados correctamente los conos protectores de papel en cada tubo.</li> </ul> <p>3 Después de fijada la caja se comprobará lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Alternativa a)</u> Que los conos protectores de papel estén colocados en su posición correspondiente, que estén colocados correctamente los elementos interiores, incluyendo los disyuntores y que la tapa sea la correspondiente al panel y a la terminación de la pared.</li> </ul>

		<p>- <u>Alternativa b)</u> Considerando que el panel quedará descubierto por tiempo indefinido, es de suma importancia que los conos protectores, que evitan la obstrucción de la tubería, estén firmemente colocados en los tubos correspondientes.</p> <p>- Que ha sido definido quién asume la responsabilidad de la conservación y cuidado de todos los elementos interiores del panel, incluyendo los disyuntores y la tapa para su instalación en la actividad final.</p> <p>Antes de iniciar los trabajos de alambraje se comprobará que las tuberías por donde pasarán los conductores carecen de rebabas u otras irregularidades y que los calibres de los conductores son los especificados en la documentación del proyecto de la instalación.</p> <p>Antes de proceder a ejecutar los empalmes, se comprobará el aislamiento de los conductores con respecto a tierra.</p>
--	--	--

**Anexo III: Solución por Mathcad para el cálculo del coeficiente de Kendall, el valor del percentil Chi-cuadrado y su probabilidad correspondiente para la brigada de construcción.**

Procesos	Miembros de la brigada									Suma	Diferencia
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Encofrado	3,5	2	1	2	1	2	1,5	2	1,5	16,5	-69
Hormigoneado	1	2	3	2	3	2	3,5	2	3	21,5	-64
Impermeabilizaciones	3,5	4	3	2	3	4	1,5	2	1,5	24,5	-61
Revoques	3,5	2	3	4	3	2	3,5	4	4,5	29,5	-56
Pintura	3,5	10	6,5	5,5	5	10	6,5	5,5	9	61,5	-24
Aceros	11	10	6,5	11	9	5	6,5	5,5	9	73	-12,5
Mlosas	11	10	6,5	11	15,5	10	11	9,5	4,5	88,5	3
Enchapes	11	5	6,5	5,5	15,5	16,5	11	9,5	9	89,5	4
Pisos	6	10	13	11	9	10	6,5	9,5	15,5	90	4,5
Techo	11	16,5	13	11	9	10	16	9,5	9	104,5	19
Reinchos	11	16,5	13	11	9	10	6,5	15,5	15,5	107,5	22
Hidráulico	11	10	13	17	9	10	16	9,5	15,5	110,5	25
Excavaciones	17	10	13	11	9	10	11	15,5	15,5	111,5	26
Muros	11	10	13	17	15,5	10	11	15,5	9	111,5	26
Eléctrica	17	10	13	17	15,5	10	16	9,5	9	116,5	31
Instalaciones_sanitarias	11	10	13	17	9	16,5	16	15,5	15,5	123	37,5
Carpintería	17	16,5	18	11	15,5	16,5	11	15,5	9	129,5	44
Muebles_sanitarios	11	16,5	13	11	15,5	16,5	16	15,5	15,5	130	44,5
<b>Ligas</b>	67	67	67	50	47,5	67	26	37,5	46,5	475	25597

W	$\chi^2$	Probabilidad
0.731980726	111.993051	5.55112E-16

**Anexo IV: Requisitos de calidad exigidos por el cliente a la brigada en los procesos de construcción.**

Pasos del proceso	Requisitos de calidad
Excavación	<p>1. Las superficies excavadas sobre las cuales se construirán los cimientos o estructuras tendrán las dimensiones y formas establecidas en el proyecto. En casos necesarios se harán las provisiones para el drenaje de las mismas.</p> <p>2. El producto de las excavaciones en caso de que no se haya acarreado fuera de la obra, y que sea utilizado posteriormente, se situará en lugares donde no perturbe el funcionamiento de la obra y el drenaje de la misma, verificándose que no afecte a la estabilidad de los taludes de la excavación. Se recomienda que el material extraído se coloque a una distancia mayor o igual de 1,5 m respecto al borde de la excavación, dependiendo ésta del ángulo de reposo del material.</p>
Rehinchado	<p>1. En las áreas de circulación vial (ferrocarriles, calles, carreteras, parqueos, áreas industriales, etc.) se exigirá que el grado de compactación cumpla con lo especificado en el proyecto de la subrasante de la obra proyectada, sobre la zanja reinchada</p> <p>2. En casos específicos de terrenos yermos o cultivados se verificará la colocación de tierra vegetal desde la superficie hasta una profundidad mínima de 300 mm.</p> <p>3. En casos de vías y zonas urbanizadas, una vez terminado el rehinchado total todo el material sobrante estará situado fuera del área de la obra, en el lugar de vertimiento adecuado</p> <p>4. En los casos de terrenos yermos o cultivados quedará apilado el material sobrante en forma de camellón sobre el ancho de la zanja, siempre que sea tierra vegetal, retirando el resto de material de otro tipo.</p>
Hormigonado	<p>1. Al llegar el hormigón al lugar de colocación debe mantener la misma calidad que al terminarse el mezclado, o sea, que no debe haberse producido segregación, desecación o exceso de agua, ni contaminación con sustancias nocivas al hormigón</p>
Encofrados	<p>Antes del hormigonado se tendrá en cuenta que:</p> <p>1. Las cuñas utilizadas para el alineamiento final estén aseguradas en posición después del chequeo final.</p> <p>2. Los encofrados estén anclados a los puntales que lo soportan.</p> <p>3. Las dimensiones del encofrado terminado cumplan con las tolerancias establecidas.</p> <p>4. Los puntales de la falsa obra están ajustados por medio de cuñas para darle la elevación y contraflecha especificada en el proyecto.</p> <p>5. Se han tenido en cuenta los asentamientos del terreno, la retracción de la madera, la deformación por carga muerta, el acortamiento elástico de la madera y la estanqueidad de la junta.</p> <p>6. Los tabloncillos que forman los caminos apoyen sobre puntales o patas o directamente sobre el encofrado o sobre elementos estructurales existentes, pero nunca sobre el acero de refuerzo.</p> <p>7. Las superficies del molde se han humedecido o cubierto con aceite u otro material adecuado.</p>

	<p>8. Del encofrado se ha eliminado cualquier residuo y está limpio.</p> <p>9. Las gateras de limpieza en columnas y muros estén cerradas.</p> <p>10. Están correctas las dimensiones de cada elemento del encofrado.</p> <p>11. Durante y después del hormigonado se comprobará que las elevaciones, contraflechas y aplomado, del encofrado se mantengan dentro de las tolerancias previstas para lo cual se dispondrá de los obreros necesarios convenientemente situados, para detectar y realizar los ajustes requeridos, en casos especiales podrán colocarse dispositivos de detección que permitan descubrir deformaciones excesivas.</p>
Colocación de acero	<p>Para la aceptación del trabajo terminado será necesario que se cumplan las siguientes tolerancias.</p> <p>La tolerancia en colocación de barras en una sección transversal será de un 3 % de la dimensión de la pieza paralela al desplazamiento de la barra, sin rebasar 25 mm. Pero si el desplazamiento no afecta al peralto, ni a la colocación del hormigón, se admite el doble de ésta.</p> <p>En dirección longitudinal, se admite una variación de # 50 mm, siempre que no afecte el recubrimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recubrimiento: desviaciones en menos 5 mm.</li> <li>- Desviaciones en el sentido del peralto o ancho del elemento de cualquier punto del eje de la armadura o vaina, siendo el peralto total, o ancho total del elemento en cada caso:</li> </ul> <p><math>L &lt; 0,25 \text{ m} \pm 10 \text{ mm}</math>  <math>0,25\text{m} &lt; L &lt; 0,50\text{m} \pm 15\text{mm}</math>  <math>0,50 \text{ m} &lt; L &lt; 1,50 \text{ m} \pm 20 \text{ mm}</math>  <math>L &gt; 1,50 \text{ m} \pm 30 \text{ mm}</math></p>
Montaje de losas	<p>La losa estará montada uniformemente espaciando las juntas de 2 – 3 mm en toda su longitud.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La losa estará apoyada uniformemente en ambos apoyos y éste será de 50 mm como mínimo.</li> <li>• No existirán losas con grietas visibles, ni roturas.</li> <li>• Todos los insertos estarán soldados y tratados con pintura anticorrosiva, y cumplirán con las especificaciones de proyecto.</li> <li>• El lugar de trabajo quedará completamente limpio de todos los medios y herramientas empleados para el mismo, así como libre de desechos tales como: hormigón, babillas, papeles, etc.</li> </ul> <p>Ubicación. Alineación, Nivelación, Tolerancia, Morteros en Juntas,</p>
Impermeabilizaciones	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las áreas impermeabilizadas estarán totalmente cubiertas de manta en su plano horizontal y una altura de 100 mm. en su perímetro total.</li> <li>2. Las uniones o juntas de las mantas quedarán solapadas en 150 mm unas sobre otras, siempre montándose desde el nivel inferior al superior.</li> <li>3. De haberse producido perforaciones accidentales, o rasgaduras de la manta, serán reparadas antes de la entrega.</li> <li>4. Toda el área de trabajo quedará limpia, libre de desperdicios o materiales sobrantes, así como retirados cualquier utensilio o herramienta usados durante la ejecución.</li> <li>5. Comprobar mediante inundación que la cubierta no se filtre.</li> </ol>
Instalaciones hidráulicas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Llenado del sistema</li> </ol>

	<p>El llenado de las tuberías del sistema se efectuará lentamente con un caudal del orden de un 5 al 10% del gasto de diseño.</p> <p>De tratarse de una red de distribución se tendrán las acometidas abiertas, cerrándolas a medida que el agua llegue a las mismas.</p> <p>2. Prueba de presión</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Después que el sistema esté lleno de agua se cerrarán todas las válvulas, excepto la de entrada, elevándose a la presión de diseño en el primer circuito a la entrada del sistema, bien por bombeo directo o por los tanques del mismo.</li> <li>- Revisar todas las válvulas cerradas del circuito comprobando que no tengan pase de agua, así como todos los lugares de empates que no hayan sido probados con anterioridad.</li> <li>- Se verificará la presión de diseño o cota piezométrica en los puntos críticos del circuito, observando durante una hora la caída de dicha presión que no será mayor de 0,05 MPa (0,5 kgf/cm<sup>2</sup>).</li> <li>- Se abrirán las válvulas de entrada al circuito inmediato, repitiendo la operación señalada anteriormente y manteniendo el primer circuito con las presiones de diseño.</li> <li>- Se continuará la prueba de todos los circuitos y ramales de forma consecutiva hasta que se termine la apertura de todas las válvulas del sistema y éste tenga la presión de diseño en los puntos críticos.</li> <li>- Con el sistema a la presión de diseño, se cerrará el suministro de agua, registrando el descenso de la presión en los puntos críticos al término de una hora y la cantidad de agua necesaria para restituir la presión de diseño.</li> <li>- El descenso de la presión no será mayor de 0,05 MPa (0.5 kgf/cm<sup>2</sup>) y la cantidad de agua necesaria o fuga permisible no excederá de 0,1 L/mm de diámetro de tubería por día, por cada 30 m de carga aplicada.</li> </ul> <p>3. Desinfección del sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El agua utilizada para llenar el sistema debe clorarse en la cuantía necesaria para obtener un residual de cloro en los finales del sistema de 20 mg/L.</li> <li>- La desinfección se realizará como se establece en la RC-3104 "Pruebas parciales de presión y fuga de tuberías en obras".</li> </ul> <p>4. Puesta en servicio</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abrir parcialmente los desagües o hidrantes del sistema hasta obtener una buena limpieza del mismo, completando la apertura una vez que el agua sale totalmente limpia.</li> <li>- Empatar las acometidas domiciliarias a fin de iniciar la puesta en servicio del sistema controlando el residual de cloro en los extremos para que concuerde con la norma sanitaria vigente.</li> </ul>
Muros	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coincidencia de los ejes, tipos, espesores y altura de los paramentos con las especificaciones del proyecto.</li> <li>2. Estar terminado en toda su longitud y enrase. Cuando se trate de cierres entre estructuras, es rematada la última hilada contra el elemento de cierre, sin que aparezcan oquedades ni excedentes de mortero.</li> <li>3. Mantener la perpendicularidad y horizontalidad en los paños, admitiéndose una tolerancia de 10 mm en distancias verticales de 3 m y en distancias horizontales de 6 m.</li> </ol>

	<p>4. Estar las juntas horizontales y verticales llenas sin sobrantes de mortero en ellas (ni en la superficie de los ladrillos), con un espesor uniforme, no mayor de 15 mm, ni menor de 5 mm.</p> <p>5. Las juntas deben ser a "matajuntas" (excepto que el proyecto especifique lo contrario) con solapes no menores de 130 mm.</p> <p>6. No deben aparecer ladrillos con grietas apreciables a simple vista.</p> <p>7. Si existen vanos, huecos de puertas ó ventanas, sobre estos deben estar contruidos dinteles de hormigón, que soportan las hiladas superiores.</p> <p>8. Cuando se trate de muros ó tabiques entre elementos estructurales, deben estar "amarrados" con los correspondientes mochos de cabillas y recubiertos con mortero hidráulico. Si se unen a otros muros o paredes, deben existir las montas entre ellas, ó haber dejado las cajuelas en cada segunda hilada, si se hubiere continuado posteriormente el resto de los paramentos.</p> <p>9. En paredes formando ángulo recto, no debe apreciarse separación entre ellas y los lados de la escuadra de 600 mm que se utiliza para comprobar la perpendicularidad entre ambas.</p> <p>10. Si existieran muros verticales con instalaciones empotradas, que corten o debiliten la pared, debe practicarse el trabajo de reforzamiento con mochos de cabillas, así como el recubrimiento con mortero hidráulico para los tubos de reventilación.</p> <p>11. Toda el área de trabajo debe quedar libre de escombros, restos de materiales o utensilios que hayan sido empleados durante la ejecución de esta actividad.</p>
<p>Instalaciones sanitarias</p>	<p>Todos los ribetes, florones desagües estarán rematados con cemento blanco. Los muebles sanitarios y sus herrajes estarán completamente limpios, así como el local o área donde se realizaron los trabajos.</p>
<p>Revestimientos de muros</p>	<p>1. Existirá adherencia total entre el mortero y la pared, comprobándose cuando se golpea con el cabo de la cuchara, un sonido no hueco.</p> <p>2. La superficie terminada presentará una textura uniforme, sin oquedades ni solapes del material.</p> <p>3. Los paramentos serán verticales, aceptándose una desviación de <math>\pm 6</math> mm en una distancia de 3 m.</p> <p>4. Se mantendrá una alineación horizontal en toda la extensión del paño, aceptándose desviaciones de <math>\pm 6</math> mm, para cualquier punto intermedio, en tramos hasta 6 m.</p> <p>5. Todos los derrames, dinteles y antepechos estarán rematados a escuadra, y con sus aristas definidas visualmente.</p>
<p>Colocación de pisos</p>	<p>1. El diseño y características del piso cumplirán las indicaciones del proyecto en todas sus partes. Su superficie será uniforme, sin ondulaciones ni saltillos entre losas, lo que se comprobará mediante una regla, no aceptándose diferencias que excedan de 1 mm en 1 m de longitud.</p> <p>2. Los pisos con pendiente determinados en la documentación de proyecto cumplirán las diferencias de altura especificadas en el mismo.</p> <p>3. La comprobación general de pendiente se hará vertiendo agua sobre el piso y observando su drenaje.</p>

	<p>4. Las juntas entre losas quedarán perfectamente llenas y limpias, rectas y perpendiculares, lo que se comprobará con cordel y escuadra, su espesor estará entre 1 y 2 mm. y se apreciará a simple vista uniforme en todo el piso.</p> <p>5. Los rodapiés quedarán alineados y sin saltillos, paralelos al parámetro del muro perpendiculares al piso y sus juntas coincidirán con las de este, salvo otra indicación específica de la documentación de proyecto.</p> <p>6. Se comprobará mediante cordel o regla y escuadra no admitiéndose desviaciones de la línea recta que excedan de 1 mm en 1 m de longitud observados tanto en la base como en la arista superior de estos.</p> <p>7. No se admitirán pisos con losas que presenten grietas o porosidades, aristas partidas o esquinas despuntadas, así como manchas o ralladuras en su superficie.</p> <p>8. El piso terminado presentará por simple apreciación visual una coloración uniforme con aspecto brillante y pulido, no aceptándose aquellas con diferencias notables en el color de las losas.</p> <p>9. Las juntas entre losas quedarán llenas, rectas y perpendiculares.</p> <p>10. No se admitirán pisos con losas que presenten grietas, partiduras o esquinas despuntadas.</p> <p>11. El piso habrá recibido la aplicación del derretido y se entregará libre de restos de materiales y limpio.</p>
Enchape de azulejos	<p>Se comprobarán los siguientes aspectos:</p> <p>1. Si los niveles de los paños de azulejos corresponden con el plano del proyecto, con tolerancia de <math>\pm 2</math> mm.</p> <p>2. Por medio de herramienta la horizontalidad y la verticalidad de los paños de azulejos con tolerancia de <math>\pm 1</math> mm por metro lineal.</p> <p>3. Que la unión que se produce entre la parte superior del paño de azulejos, y la pared (que puede estar revestida de mortero o enlucido) esté rematada en forma tal que no se produzca un ángulo recto entre ambos elementos.</p> <p>4. Que la posición de los azulejos seccionados se encuentren colocados en lugares menos visibles.</p> <p>5. Que la colocación de los accesorios de azulejos y de muebles sanitarios sea la que señala el proyecto.</p> <p>6. Que las aristas de los azulejos seccionados, si son visibles, estén rematadas con sus ángulos y bordes en línea recta.</p> <p>7. Que las juntas sean uniformes, rematadas, alineadas y sin saltillos. Se admitirá una dimensión de juntas entre 1 y 2 mm.</p> <p>8. Que el color sea, por apreciación visual, uniforme.</p> <p>9. Que la superficie de los azulejos tengan sus caras lisas, sin roturas, astilladuras, ampollas o rajaduras.</p> <p>10. Que las superficies de los paños estén limpias de materiales sobrantes.</p>
Colocación de muebles y accesorios sanitarios	<p>Todos los ribetes, florones y desagües estarán rematados con cemento blanco.</p> <p>Los muebles sanitarios y sus herrajes estarán completamente limpios, así como el local o área donde se realizaron los trabajos.</p>
Pintura	<p>1. Que las superficies no presenten materiales incrustados u oquedades.</p> <p>2. Que los colores utilizados sean uniformes.</p> <p>3. Que las superficies terminadas no presenten manchas a causa de la humedad.</p>

	<p>4. Que las uniones entre distintos paños de otros colores mantengan una arista perfectamente definida al observador.</p> <p>5. Que las uniones entre los paños y la carpintería lleguen exactamente a ésta, sin que queden residuos de pinturas, ni espacios sin pintar en los paños.</p> <p>6. Que no queden sobre los pisos manchas de pintura.</p> <p>7. Que hayan sido retirado todos los medios auxiliares y materiales sobrantes, de las áreas terminadas.</p>
Colocación de carpintería	<p>a) Cumplirán con las especificaciones de proyecto (tipo, dimensiones, ubicación, giro, herrajes, etc.).</p> <p>b) Cumplirán con las normas de calidad establecidas para el producto, como elemento industrial. Ver Complemento. Relación de normas cubanas.</p> <p>c) No presentarán golpes o desgarraduras, así como restos de mezcla, u otros materiales.</p> <p>d) La holgura entre hojas y marcos cumplirán con las tolerancias descritas.</p> <p>e) Los herrajes funcionarán suavemente, garantizando el asuste y cierre de los elementos.</p> <p>Que los herrajes funcionen y que las holguras entre las hojas y los marcos sean las toleradas por las normas</p>
Colocación de falso techo	<p>1. Revisar que las losas no presenten alabeos, rajaduras o humedad.</p> <p>2. Que cumpla con las especificaciones del Proyecto</p> <p>3. El área techada debe estar libre de andamios, restos de materiales o basuras.</p>
Instalaciones eléctricas	<p>En cada salida de techo o pared aparecerá la cantidad de conductores de los calibres especificados en la documentación de proyecto correspondiente, listos para ejecutar los empalmes necesarios.</p> <p>Todos los conductores que registren en las salidas estarán empalmados y aislados con cinta adhesiva (“tape”), excepto los que serán conectados a luminarias u otros artefactos y accesorios.</p> <p>Tanto los accesorios como las luminarias y otros artefactos quedarán instalados completamente firmes, alineados vertical y horizontalmente y limpios de manchas o suciedades</p>

**Anexo V: Solución por Mathcad para el cálculo del coeficiente de Kendall, el valor del percentil Chi-cuadrado y su probabilidad correspondiente para los clientes de la brigada de construcción.**

PROCESOS	Personal encuestado de las empresas clientes												SUMA	Diferencia
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Encofrado	2	6,5	2,5	2,5	5	2	1,5	7,5	5	2	1,5	6,5	44,5	-69,5
Hormigoneado	5,5	2	2,5	2,5	5	2	4,5	3	5	7	5,5	6,5	51	-63
Muebles_sanitarios	5,5	6,5	6,5	2,5	5	5	4,5	3	1,5	2	5,5	6,5	54	-60
Enchapes	2	6,5	2,5	6,5	5	5	4,5	3	5	2	5,5	6,5	54	-60
Impermeabilizaciones	5,5	6,5	6,5	6,5	5	5	1,5	3	1,5	7	5,5	1,5	55	-59
Hidráulica	8,5	2	6,5	9,5	1	2	8,5	3	10	7	1,5	1,5	61	-53
Eléctrica	5,5	2	6,5	6,5	5	9	4,5	7,5	5	7	5,5	6,5	70,5	-43,5
Instalaciones_sanitarias	2	6,5	2,5	2,5	5	9	8,5	7,5	10	7	5,5	6,5	72,5	-41,5
Excavaciones	8,5	6,5	12,5	6,5	14	12,5	8,5	7,5	10	7	9,5	6,5	109	-5
Pintura	12	11	9	9,5	10	9	13	10	14	7	13	6,5	123,5	9,5
Pisos	12	11	12,5	11,5	14	9	13	13	5	11	9,5	13	133	19
Reinchos	16	13,5	12,5	15,5	10	9	8,5	13	10	14	13	17	151,5	37,5
Mlosas	12	11	17	11,5	10	12,5	17	17	10	14	17	13	161	47
Aceros	12	16,5	12,5	15,5	17	16	17	17	14	14	13	13	176,5	62,5
Carpintería	16	16,5	12,5	15,5	17	16	13	13	14	18	13	13	176,5	62,5
Muros	16	16,5	12,5	15,5	14	16	13	13	17	14	17	17	180,5	66,5
Techo	16	13,5	17	15,5	14	16	17	17	17	14	13	17	186	72
Revoques	16	16,5	17	15,5	17	16	13	17	17	18	17	13	192	78
<b>Ligas</b>	<b>23</b>	<b>27</b>	<b>29,5</b>	<b>28,5</b>	<b>37</b>	<b>24,5</b>	<b>22,5</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>41</b>	<b>30,5</b>	<b>54,5</b>	<b>366,5</b>	<b>53498</b>

W	X <sup>2</sup>	Probabilidad
0,8183876	166.95108	0