ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

INSTITUTO DE CIENCIAS MATEMATICAS
ESCUELA DE GRADUADOS

PROYECTO DE GRADUACION

PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE:
“MAGISTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTION LOGISTICA”

TEMA

DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA PRODUCTIVIDAD Y COMPETITIVIDAD EN LA CONSTRUCCION DE GRANJAS PORCINAS EN EL ECUADOR.

AUTOR:

ECON. HUGO ERMEL TORRES GRANDA

Guayaquil – Ecuador

AÑO

2.010

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Compañía Procesadora Nacional de Alimentos por el auspicio que me brindó para terminar esta maestría.

Agradezco también al Dr. Kléber Barcia por su acertada dirección en este trabajo y a todo el cuerpo docente de la maestría.

DECLARACION EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, así como el Patrimonio Intelectual del mismo, corresponde exclusivamente al **ICM (Instituto de Ciencias Matemáticas)** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Hugo Ermel Torres Granda

TRIBUNAL DE GRADUACION

MSc. Kléber Barcia Villacreses	MSc. Fernando Sandoya Sánchez
DIRECTOR DE TESIS	PRESIDENTE TRIBUNAL

MAE. Nelson Cevallos Bravo
VOCAL

HUGO ERMEL TORRES GRANDA

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CUADROS

TABLA DE GRAFICOS

TABLA DE ANEXOS

ABREVIATURAS

BPM	Buenas prácticas de manufactura
CEP	Control estadístico de procesos
CD	Costos directos
CI	Costos indirectos
cv	Coeficiente de variación
ICP	Indice de capacidad del proceso
Kgs/cm2	Kilogramos por cm2
Li	Límite inferior de control
Ls	Límite superior de control
Lc	Límite de control
LSE	Límite superior de especificación
LIE	Límite inferior de especificación
M.O	Mano de obra
M.O.D	Mano de obra directa
M.O.I.	Mano de obra indirecta

Objetivo General.-

El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo de gestión que permita de forma práctica mejorar los niveles de productividad y de eficiencia en la construcción de granjas porcinas y por esta vía lograr mejores niveles de competitividad vía reducción de costos en la industria de cárnicos provenientes de la cinicultura.

Objetivos Específicos.-

1° Identificar las variables de productividad que tienen gran impacto en los costos de producción y en la calidad de las edificaciones.

2° Diseñar gráficas de control para las variables definidas en el numeral uno, el tipo de gráfica diseñada dependerá de las características de cada variable

3° Probar la normalidad de las variables para las que se usen gráficos X, mediante una prueba chi cuadrado.

4° Medir la capacidad del proceso mediante el índice de capacidad del proceso "ICP".

5° Definir el muestreo, para las variables que amerite.

6° Diseñar un modelo de remuneración variable que esté íntimamente relacionado con el modelo "CEP", usando técnicas de análisis funcional.

7° Plantear un modelo de programación matemática para minimizar el costo total de las compras y los inventarios.

8° Definir un pequeño esquema de tablero de control.

INTRODUCCION.-

Planteamiento del problema.-

El problema que se plantea es la construcción de un modelo de gestión por el que usando las metodologías de control estadístico de procesos “CEP”, Análisis Funcional y Programación Matemática se puedan tener resultados tangibles en el incremento de la productividad y la eficiencia en las operaciones de edificación de granjas porcinas.

El modelo comienza por identificar las variables que afectan a la productividad y la eficiencia, luego mediante “CEP” se diseñan gráficos de control que permitirán controlar en primera instancia el uso eficiente de la mano de obra, reducir los desperdicios de materiales y el uso apropiado de maquinaria y herramientas.
En un segundo momento y con procesos controlados, se puede iniciar una etapa de mejoramiento continuo.

La implementación del “CEP”, requiere de un mayor compromiso de los trabajadores por lo que, la sola implementación de esta herramienta no garantiza el éxito del modelo, es necesario entonces implementar también un modelo de salarios variables, que motive a la fuerza laboral y que apalanque al modelo “CEP”.

El modelo “CEP” y el modelo de salarios variables tendrán incidencia en los factores de trabajo y recursos naturales por lo que para complementar la mejora en todos los factores de la producción se desarrolla un modelo de programación matemática para minimizar el costo total del capital que básicamente en construcción está representado por los inventarios y las compras de materiales.

El modelo de gestión basado únicamente en controlar las variables de productividad y eficiencia puede esconder problemas de calidad, por lo que en el modelo “CEP”, se contempla controlar variables de calidad como resistencia de materiales y calidad de materias primas.

Esto permitirá encontrar los puntos donde se concilien las contradicciones que siempre se van a producirse, por el hecho de buscar mínimos.

Finalmente y como parte del modelo de gestión se incorpora un programa de bench marking que servirá de guía para el mejoramiento de las variables macro.

Justificación del tema.-

Como se ha mencionado la industria de la construcción, es una de las pocas donde no se han hecho esfuerzos para mejorar la productividad, si visitamos una obra en construcción, sin mayor análisis se observa que los métodos y procesos de trabajo son los mismos que se han visto por décadas, más aun en la construcción de granjas para la crianza de animales este retrazo tecnológico es más evidente porque se usan técnicas totalmente artesanales. El trabajador de la construcción es el menos calificado de todos un buen porcentaje de ellos son analfabetos, no se han hecho esfuerzos serios para capacitar a la mano de obra.

Las inversiones que demanda la construcción de granjas para criar animales bajo el modelo de estabulación son muy grandes y las compañías productoras de cárnicos dedican buena parte de su flujo de caja a la realización de estas obras de infraestructura.

Con este antecedente se plantea este trabajo que usando la Matemática aplicada contribuye a mejorar la productividad de la industria, propone modelos salariales motivadores y abre una puerta de entrada a la mejora continua.

El descontrol de los procesos productivos en la construcción genera desperdicios, mal uso de la mano de obra y altos costos de producción.

Finalmente siendo las inversiones en activos fijos uno de los costos más importantes a redimir en todo emprendimiento, este modelo ayudará a la empresa a mejorar sus márgenes de rentabilidad ó a bajar los precios de los productos finales con el objeto de ganar espacios en el mercado.

Hipótesis.-

La hipótesis central que se somete a prueba es que utilizando un modelo de Control Estadístico de Procesos “CEP”, modelos de optimización, otras herramientas matemáticas y estadísticas podremos elevar la productividad en la construcción de granjas porcinas.

Metodología.-

Una vez definidas las variables claves se diseña el modelo de control estadístico de procesos que permita evaluar los estándares de cada rubro, para cada variable, se calculan las medias y los rangos de dispersión dentro de los que debe fluctuar la variable evaluada, de tal manera que se facilite encontrar los excesos y desperdicios de materiales ó mano de obra.

Para evaluar el costo, se usarán, los costos estándar, mismos que serán obtenidos de valorar los estándares de uso de materiales, mano de obra y máquina, el costo así estructurado, servirá como base de comparación con los costos reales.

La reducción de costos opera en la medida que los costos reales caigan dentro de la franja definida de dispersión como se muestra en el gráfico No 1.

Grafico No 1

Control de Prueba

Gráfica [(1)] tomada de "Manual de Control Estadístico de Procesos"

El modelo así planteado permitirá construir un sistema de gestión y control de costos muy eficiente.

Es importante mencionar, que este modelo de control de costos debe ir acompañado de un sistema de medición de la calidad, muy estricto ya que puede cometerse el error de

[1] Matemáticas y poesía.com Ec, autor anómino

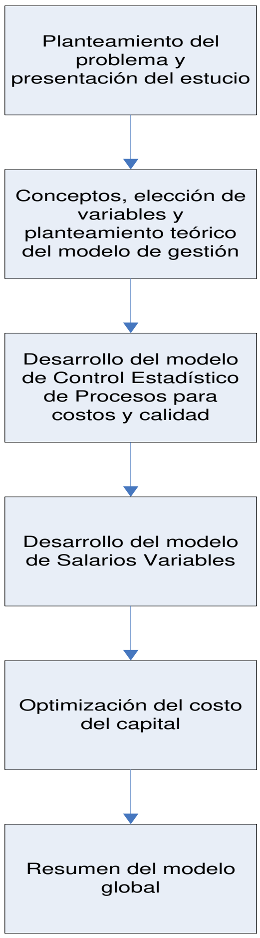
bajar los costos poniendo materiales de baja calidad ó empobreciendo las mezclas de hormigón, poniendo en riesgo incluso la estabilidad de las edificaciones.

En cuanto a las compras de materiales se plantea un modelo para eficientar el costo final de los mismos, es decir, el modelo debe comprender, costo del producto, transporte, costo del pedido, etc y manejo adecuado del sistema de inventarios que no permita la caducidad ó la baja de la calidad de los materiales.

Usando un modelo de Programación Matemática se busca optimizar las compras y la administración de inventarios como quedó señalado.

El sistema de remuneración variable busca dar consistencia a todo el modelo de gestión a través de cohesionar sus partes con el concurso de una mano de obra mejor remunerada en base a una mejor productividad.

Finalmente se presenta un tablero de control con los indicadores de gestión más importantes.
El siguiente diagrama de flujo explica de forma resumida la metodología seguida en el trabajo.



Estructura de la Tesis.-

Este trabajo se desarrolla en cinco capítulos, se inicia con las Generalidades, donde se definen los objetivos, se plantea el problema en función de la investigación previa, y se justifica el tema, en este acápite se destacan los antecedentes y las soluciones propuestas que justifican el haber realizado este trabajo.

El objetivo general, describe el logro macro y principal de la tesis sobre el que versan todos los contenidos, los análisis y las propuestas de la misma.
Los objetivos específicos, enuncian lo que la tesis alcanzó luego de concluido el análisis.

El planteamiento de la hipótesis define la posibilidad de mejorar la productividad y la eficiencia en la construcción a través de un modelo de gestión como el que se presenta.

La metodología, describe en detalle las técnicas utilizadas, las variables estudiadas y los referentes de control.
La estructura, describe el contenido de la tesis clasificado por temas.
En el capítulo uno, se hace una aproximación al tema y se precisan conceptos, se definen variables de productividad y calidad, se plantea el modelo de reducción de costos desde un punto de vista conceptual y se definen los rubros de costo que serán analizados posteriormente en el modelo "CEP".
El capítulo dos, desarrolla el modelo "CEP" para reducción de costos.

Divide los costos en costos directos y costos indirectos, construye las gráficas de control X, R y P, estudia una propuesta para reducir costos a través de la mejora continua e incorpora el modelo de muestreo para el desarrollo de las gráficas de control de calidad, estudia la medición de la capacidad del proceso y finalmente propone una integración entre el modelo "CEP" y el ERP de la empresa para volver más eficiente la captura de datos del sistema de producción.

El capítulo tres, aborda el sistema de salarios variables, se efectúa un análisis de las condiciones del trabajo en la construcción, se estudian sus variables y se propone modelos estandarizados para medir, calificar y premiar los mejores esfuerzos, se utiliza la técnica de análisis funcional y se divide al salario variable en los Módulos de mano de obra directa y mano de obra indirecta.

El módulo de mano de obra directa trabaja en las variables de costo, recepción de materiales y calidad y el módulo de mano de obra indirecta aborda el uso de materiales.

En el capítulo cuatro se expone el costo del capital y el manejo de inventarios. Se conceptualiza al costo del capital, desde el punto de vista económico, esto implica visualizar los desembolsos con un costo asociado al tiempo de permanencia de los inventarios en bodega y a castigar los excesos de inventarios que ocasionen pérdidas. Para este efecto se modeló un sistema de minimización del costo total de las compras y los inventarios en programación matemática.

También en este capítulo se presenta un acápite dedicado al Bench Marking como herramienta de control y mejora.
En el capítulo cinco se presenta un resumen del modelo global partiendo de datos reales del rubro de enlucidos, se construyen gráficos de control, modelos de salarios variables y se hace una corrida del modelo de compras e inventarios.

Finalmente, las conclusiones y recomendaciones subrayan la utilidad del modelo para hacer mejoras en la productividad de la industria de la construcción de granjas porcinas, los consensos que el modelo debe tener para que sea de aplicación práctica, también se señala la utilidad que este modelo puede tener en otras áreas de la industria como la construcción de granjas para otras especies animales, construcción de naves industriales y vivienda popular.

Se recoge también la utilidad del modelo para generar procesos de mejora continua en la parte operativa y en la parte estratégica de la organización.

CAPITULO I

APROXIMACION AL TEMA.-

Estado previo del Arte.-

En el Ecuador, y por lo que se puede inferir de los artículos y trabajos investigados, en toda América Latina la construcción basa sus procesos productivos en el uso de herramientas tradicionales, con la participación de una fuerza laboral poco calificada y con muy poca ó ninguna medición de la productividad de los factores .

Pocos son los esfuerzos que se han hecho para incrementar la productividad y la eficiencia en los países de la región, ni el sector público ni la misma industria han desarrollado procesos de mejora enfocados a la construcción, son más bien académicos y Universidades quienes se han preocupado por hacer diagnósticos y dar recomendaciones sobre este tema.

En el Ecuador no se habla de productividad en ningún sector de la economía y peor aun no se piensa en la productividad como un impulsor del progreso de la nación, las mejoras de productividad en el Ecuador no son atribuibles a los gremios ni al gobierno, tampoco a programas dirigidos para incrementarla son más bien esfuerzos aislados de empresas que obligadas por la competencia internacional ó por la visión de sus directivos las que han emprendido en procesos de mejoramiento de la productividad y la eficiencia .

En el artículo " La construcción y los inmigrantes limitan la productividad en España".[2] señala, que la productividad por trabajador en España crecía a un ritmo del 10 % anual hasta mediados de la década de los 90, empero que con la llegada de los inmigrantes y el auge del sector de la construcción este indicador ha bajado al 0,8 % anual, según el artículo los bajos salarios por los que están dispuestos a trabajar los inmigrantes y el bajo nivel de calificación de la mano de obra han incidido en este resultado; si bien no se puede tomar al pie de la letra lo que señala el artículo porque no hay que olvidar que la productividad de los factores de la producción tiene un comportamiento que se refleja en una curva de rendimientos finalmente decrecientes, tampoco podemos ignorar el hecho de que los bajos niveles de productividad y de eficiencia en las economías latinoamericanas, tal vez con la excepción de Chile, son una realidad que está presente.

Otro aspecto importante es que siempre que se habla de productividad, se enfatiza en la productividad del trabajo, dejando de lado los otros factores de la producción, este ensayo abordará los tres factores de la producción (trabajo, recursos naturales y capital).

Productividad y competitividad.-

La productividad, es la relación que existe entre la cantidad de factor utilizada y la cantidad de producto obtenida por el uso de ese factor, así por ejemplo para fabricar un metro cúbico de hormigón con resistencia de 210 kgs/cm2 se utilizan 7,2 sacos de cemento, la productividad del cemento será 1 m3 por 7,2 sacos de cemento.

La competitividad puede ser definida como la obtención de la mayor cantidad de producto al menor costo posible; los conceptos de productividad y competitividad son complementarios porque la productividad por si sola no garantiza competitividad, se puede ser altamente productivo pero a costos elevados y esta condición se da cuando siendo altamente productivo los costos de los factores son altos.

Definición de variables.-

[2] Diariocordova.com sección Economía; Rosa María Sánchez 23 de Noviembre del 2006

Variables de productividad:

Las variables claves que se han definido para el funcionamiento de este modelo de gestión son:

Trabajo, recursos naturales, capital y la tecnología asociada a esta modalidad de edificación.

Trabajo (M.O.).-

Se subdivide en mano de obra directa (M.O.D.) y mano de obra indirecta (M.O.I.).

La mano de obra directa es aquella que transforma ó ensambla materias primas y materiales para obtener como resultado rubros de construcción mesurable y cuantificable, la forma en que se mide esta variables es en horas hombre por unidad de rubro.

Aunque esta definición parezca muy elemental es importante dejar claro el concepto en la medida que será sujeto de análisis para alcanzar el objetivo de este trabajo.

La M.O.I., está constituida por el aporte de Residentes de Obra, Supervisores de Construcción y Director del Proyecto, la forma en que se mide esta variable es en horas de trabajo hombre asignadas al proyecto.

Recursos Naturales.-

Los recursos naturales que se utilizan en la actualidad para la construcción de granjas de cerdos en el Ecuador son:

Cemento, arena, ripio, madera, hierro, zinc, piedra, tierra de rellenos entre otros, y se mide en unidades de longitud, peso y volumen por unidad de rubro.

Cabe señalar que el modelo de gestión presentado en este trabajo estudia de forma particular a estos elementos, empero tendrá la capacidad de analizar cualquier otro material que en el futuro pueda sustituirlos.

Capital.-

Dado que el dinero tiene su costo y las obras de construcción se hacen en períodos más ó menos largos con inversiones grandes, se ha determinado que el costo del capital puede ser controlado de forma eficiente a través de un manejo de inventarios que minimice el costo de posesión de materiales, para este efecto se desarrollará un modelo de programación matemática que cumpla con este objetivo.

Tecnología.-

La variable tecnología sin ser un factor de la producción, es determinante al momento de evaluar la productividad de los factores ya que dependiendo del nivel tecnológico se pueden medir los rendimientos de la mano de obra, los materiales y los tiempos de ejecución de obras, queda sobrentendido que el modelo que se presenta hace la evaluación de todos los factores partiendo de un nivel de tecnología dado, empero como en el caso de los materiales si el nivel tecnológico sufre modificaciones, el modelo está en capacidad de evaluar el proceso con las nuevas condiciones .

Variables de calidad.-

Dado que el modelo persigue como objetivo principal el incremento de la productividad en la construcción como elemento para mejorar la posición competitiva de la industria, se debe ser cuidadosos en los niveles de calidad del producto final (granja de cerdos) ya que se puede cometer el error de sacrificar la calidad en beneficio de los costos de construcción de las granjas, pero por defectos de calidad se puede llegar a problemas sanitarios ó de duración del proyecto que al final pueden ser más costosos que los ahorros logrados en la etapa de construcción, con estas consideraciones se definen las siguientes variables de calidad:

Resistencia de materiales, funcionalidad de las instalaciones y cumplimiento de normas biosanitarias.

Resistencia de materiales.-

La construcción de los diferentes rubros debe estar abalizada por estudios de laboratorio que certifiquen que pueden resistir los pesos definidos en los planos estructurales, que se han utilizado la cantidad y calidad de materiales recomendados por el estructuralista, estas variables se miden en:

Hormigones $\text{kg.}/m^2$

Hierro en Kg. usados

Funcionalidad de las instalaciones.-

La funcionalidad de las instalaciones está determinada por el cumplimiento exacto de las dimensiones de corrales, jaulas, altura de bebederos, número de comederos, distancias entre galpones etc.

La funcionalidad de las instalaciones es una de las variables claves para el desarrollo de los animales, un bebedero colocado de forma inadecuada ó puesto a una altura fuera de la norma no proporcionará el agua suficiente al animal y por ende su sistema metabólico no funcionará con eficiencia.

Cumplimiento de normas biosanitarias.-

El diseño arquitectónico de la granja debe cumplir especificaciones estrictas sobre normas sanitarias.

Modelo de Gestión para reducción de costos.-

El modelo toma como punto de partida el costo estándar de cada rubro de construcción, el mismo que está calculado en base a estándares de uso de materiales, estándares de rendimientos de M O D, maquinaria, equipo y herramienta.

Durante la ejecución de la obra utilizando herramientas de Control Estadístico de Procesos "CEP" se controla que los costos no sobrepasen determinados límites hacia abajo ó hacia arriba del costo estándar definido en el presupuesto, en una segunda etapa utilizando técnicas de mejora continua a través de investigación de campo se plantean acciones que permitan reducir los costos de producción.

Estas mejoras se incorporan en las herramientas "CEP" y se definen nuevos costos estándar, los mismos que sirven para hacer comparaciones futuras y de esta manera mantener un programa permanente de reducción de costos de producción en la construcción.

Costos en la construcción de granjas porcinas.-

Los costos en los que se incurre para construir una granja de cerdos son:

Costo de obra civil

Costos de equipos pecuarios

Gastos administrativos

Gastos financieros.

Para los fines que se persigue en este trabajo, es decir bajar los costos de producción a través de un modelo de gestión basado en "CEP" es conveniente hacer una primera clasificación de los costos a los que subdividimos en Costos directos CD y costos indirecto CI.

Los costos directos, son aquellos en los que se incurre para la construcción de un determinado rubro y que son identificables con el producto terminado, dentro de este grupo de costos están:

M O D, materias primas, materiales e insumos, etc.

Los costos indirectos son aquellos asociados a la construcción de un rubro pero que no se los puede identificar directamente con el producto terminado, dentro de este grupo se contabilizan la M.O.I, el uso de energía eléctrica, los gastos administrativos, entre otros.

Los costos de equipo pecuario, están constituidos por las compras de maquinaria y equipo como, líneas de comederos, líneas de bebederos, silos, sistemas automáticos de distribución de alimento, calefactores, etc.

Entre los gastos de administración están, el uso de papelería de oficina, pago de telefonía, etc.

Una segunda clasificación de los costos necesaria para el propósito de este trabajo es la que agrupa a los costos en controlables y no controlables.

Los costos controlables, son los que la administración puede gestionar y controlar a través del modelo propuesto y dentro de este gran grupo de costos está básicamente los costos directos de obra civil, los costos directos de instalación de equipos, el costo de los equipos, la M O I.

Los costos no controlables, son aquellos en los que la administración no puede hacer ninguna gestión para reducirlos ó eliminarlos, entre estos costos están las tasas y los impuestos municipales, gastos imprevistos por condiciones climáticas, etc.

Gastos financieros.

Los gastos financieros, se abordan desde la perspectiva económica y no desde la perspectiva contable ya que interesa la disminución del uso de recursos.

Planteamiento del modelo para la reducción de costos.-

Analizando mediante un Pareto la composición de los costos de construcción de una granja porcina se encuentra que:

Costo directo controlable	80%
Costo de equipos importados	10%
Mano de Obra Indirecta	4%
Gasto no controlable	2%
Gasto administrativo	4%.
Total	100%

Fuente: Datos históricos de Construcciones Pronaca

Nota: Dentro del gasto administrativo se contabilizan honorarios.

Con este antecedente, el enfoque se va ha centrar en los costos directos controlables, y la mano de obra indirecta que representan el 84 % del costo total; los costos de equipos importados son un tanto más discrecionales porque se pueden escoger de entre distintos fabricantes, distintas procedencias y la diferencia entre uno y otro va ha estar dado por los costos CIF (costo, seguro y flete) más los costos de internación por lo que realmente no amerita incluirlos en el modelo.

El gasto administrativo en cambio es muy pequeño y no vale la pena el esfuerzo de control frente a los potenciales ahorros que se puedan tener en este rubro.

Finalmente el gasto no controlable como queda dicho, no admite gestión para reducirlo ó eliminarlo.

Una vez que están claramente definidas las variables y los grupos de costos, sobre los que se va ha trabajar se proponen los modelos que van a interactuar en el propósito de reducir los costos y que en conjunto forman lo que se ha denominado modelo de gestión.

Los costos directos controlables se gestionarán a través de un modelo "CEP" y de un modelo de optimización, y los costos de mano de obra directa e indirecta se controlarán a través de un modelo de salarios variables.

CAPITULO II

MODELO "CEP" PARA CONTROL DE COSTOS.-

Modelo "CEP" para el control de costos directos.-

El costo de interés para el inversionista es el costo total de la granja , empero por la complejidad del proceso productivo, el tiempo de duración del mismo y lo impráctico que sería esperar terminar la construcción para recién analizar su costo, se han desarrollado, metodologías de control y evaluación de los costos en la construcción que permiten su análisis de manera diaria ó semanal y por cada rubro que conforma la edificación, se tiene entonces que existe un costo estándar ó precio unitario como se lo quiera llamar por construir un m^2 de loza , un m^2 de mampostería un m^3 de hormigón, etc.

El uso de precios unitarios está ampliamente difundido en el ramo de la construcción y existen diferentes fuentes que proporcionan estos costos como referenciales de cada rubro, las Cámaras de la Construcción, los Colegios Profesionales, los gremios de artesanos de la construcción, etc. publican de forma periódica estos precios, y son tomados por los constructores como referenciales, empero cada constructor puede formular su propio estándar y gestionar su costo.

Las variables usadas en la determinación del costo estándar, son las variables de productividad que se definió al inicio de este trabajo.
A continuación se presenta como se calcula un precio unitario ó costo estándar

Cuadro N°1
Cálculo de precio unitario
Mampostería bloque de carga e = 15 cm
Unidad de medida U - u m2
Mortero Cemento arena 1 : 6

Materiales

Descripción	Unidad /medida	Estándar	P/U	Costo
Bloque de carga 15X20X40	un	13	0,35	4,55
Auxiliar mortero arena 1:6	m3	0,02	50,37	1,01
Total materiales				5,56

Mano de Obra

Descripción	Categoría	Número	S.R.H.	Rendimiento H/hombre	Costo
Peón	I	1	1,42	0,62	0,87
Albañil	III	1	1,42	0,62	0,87
Maestro de obra	IV	1	1,42	0,06	0,09
Total Mano de Obra					1,83

Costo del Equipo

Descripción	Número	Costo hora	Rendimient o H/ equipo	Costo
Herramienta menor 5% de M.O.	1	0,12	0,615	0,07
				0,09
Total Equipo				0,16

Resumen del Costo		%
Costo Materiales	5,56	74%
Costo M.O.	1,83	24%
Costo Equipo	0,16	2%
Costo total	7,55	100%

. Fuente : Manual de Análisis de Precios Unitarios Referenciales Comunes de Construcción pag. 232

El ejemplo muestra la construcción de un m^2 de mampostería con bloque de carga de 15 cm., usando un mortero en las proporciones de 1 de cemento y 6 de arena. (Cuadro N° 1)

De acuerdo al estándar de la Cámara de la Construcción de Quito los materiales usados son:

13 bloques; 0,02 m^3 de mortero; 0,62 horas hombre de peón; 0,62 horas hombre de albañil; 0,06 horas hombre de maestro de obra y 0,615 horas equipo estos materiales,

insumos y mano de obra multiplicados por sus respectivos costos nos dan un costo estándar del m^2 de mampostería de US 7,55.

Si se mira de forma detenida la composición del costo del m^2 de mampostería se puede observar que el costo del mortero no está desdoblado en sus componentes de materias primas, mano de obra, etc. y por tanto no se podría hacer el control de los materiales de este subcomponente, por lo que hay que buscar el costo estándar del mortero.

Cuadro N° 2
Auxiliar mortero Cemento arena 1:6
Unidad de medida U - u m3

Materiales

Descripción	Unidad /medida	Estándar	P/U	Costo
Cemento	Kg	309	0,13	40,17
Arena	m3	1,25	8	10,00
Agua	m3	0,308	0,66	0,20
Total Auxiliar mortero 1:6				50,37

Fuente : Manual de Análisis de Precios Unitarios Referenciales Comunes de Construcción pag 51

Como se tomó el ejemplo de los costos de la Cámara de la Construcción de Quito, se utilizará la misma fuente de información y se tiene que para fabricar un m^3 de mortero son necesarios 309 kgs. De cemento; 1,25 m^3 de arena y 0,308 de agua que valorados a sus precios de compra da un costo estándar US 50,37 por m^3 como se muestra en el cuadro N° 2.

El costo como puede verse está integrado por diversos factores y todos ellos responden a un nivel dado de tecnología, al estado de la economía, los métodos de producción, la productividad de la mano de obra, etc.

En tanto y en cuanto estos factores permanezcan constantes, es decir, no varíen los precios, no se cambien los procesos productivos, no se cambien las materias primas, el costo promedio de la construcción se moverá entre ciertos límites con pequeñas variaciones.

Los costos son el producto de la interrelación de los diversos factores que los conforman y estos a su vez dependen otros factores que no están tan visibles, así por ejemplo la temperatura, la humedad relativa tienen incidencia en los procesos productivos, las materias primas pueden tener ligeras variaciones de calidad, etc.

El cambio de estos factores a través del tiempo producen alteraciones en la fabricación de productos que finalmente se reflejan en los costos, produciéndose variaciones naturales llamadas variaciones aleatorias y que son las que explican el porque el costo en condiciones normales se mueve alrededor del costo medio.

Empero existen variaciones de los costos que no responden a causas aleatorias sino que obedecen a factores como bajo rendimiento de la mano de obra, desperdicios, errores, mala calibración de máquinas, estas variaciones se denominan variaciones atribuibles y por lo general son grandes a diferencia de las variaciones aleatorias que son pequeñas cuando se presentan variaciones atribuibles se dice que el proceso está fuera de control.

El "CEP" surge como una técnica estadística útil para distinguir entre una variación de costos por causas aleatorias y una variación por causas atribuibles, para este efecto se han desarrollado como herramienta los gráficos de control.

Construcción de gráficos "CEP".-

Para construir un gráfico "CEP", es importante analizar el comportamiento de la variable a ser estudiada, no todas las variables se controlan con el mismo tipo de gráfico, existen una variedad de técnicas estadísticas, que determinan el tipo de gráfico a utilizar.

Para fines de este trabajo se irá sustentando el porque del uso de determinado tipo de gráfico.

Las técnicas de "CEP", para definir los gráficos de control trabajan fundamentalmente con muestras tomadas de las variables en estudio, esto se hace por la dificultad de medir a toda la población.

En el caso de los costos de la construcción se trabaja con el universo, debido a que los pagos de mano de obra se los hace por unidad de rubro y los consumos de materiales son de fácil medición en su totalidad.

Para evaluar los costos de la construcción de granjas porcinas, se utilizan los gráficos X, mismos que, requieren que la variable analizada tenga una distribución normal.

El uso de gráficos, X también permite identificar las observaciones fuera de control de manera independiente, este punto es importante ya que todos los rubros, son trabajados de forma artesanal, en consecuencia las variaciones del costo están en función del rendimiento de la mano de obra y de los niveles de desperdicios de materiales, por lo que usar gráficos de medias móviles, gráficos cusum, ú otros no permite encontrar con rapidez las causas de la variación en un rubro determinado.

Para explicar la elaboración de los gráficos de control en la construcción, se retoma el ejemplo del costo estándar del m^2 de mampostería, este costo se lo toma como el costo que se quiere alcanzar en la realidad porque sintetiza la aspiración en cuanto a productividad y precios de materiales en consecuencia será el parámetro de comparación frente a los costos que se obtenga en la práctica.
Pero ¿Cuáles deberían ser los límites máximo y mínimo dentro de los que se debería mover el costo? , en otras palabras ¿Cuales son los límites de las variaciones aleatorias?
La técnica del "CEP", determina entre otras alternativas construir un rango donde:

$$Li = \bar{x} - 3{,}09\sigma$$

$$Ls = \bar{x} + 3{,}09\sigma$$

Siendo : Li límite inferior
Ls límite superior
x costo medio .
Suponiendo siempre que los costos tienen una distribución normal, cosa que se demostrará más adelante.

Empero la comparación no va ha hacerse contra un costo medio sino con un costo estándar al mismo que se pretende ponerle como límite superior el costo máximo aceptable para cada rubro de construcción, se parte entonces del coeficiente de variación cv.

$$cv = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

$$\sigma = cv.\bar{x}$$

$$\bar{x} + 3\sigma = \bar{x}(1 + a)$$

$$1 + 3cv = (1 + a)$$

$$3cv = a$$

$$cv = \frac{a}{3}$$

Luego se formula una igualdad por la que el costo estándar más tres desviaciones típicas es igual al costo estándar más un porcentaje a de variación de costo.

Despejando esta igualdad se obtienen los límites superior e inferior del costo.

Aplicando estas ecuaciones al costo estándar del m^2 de mampostería considerando que se quiere tener como máxima desviación de costo el 5 % se tiene:

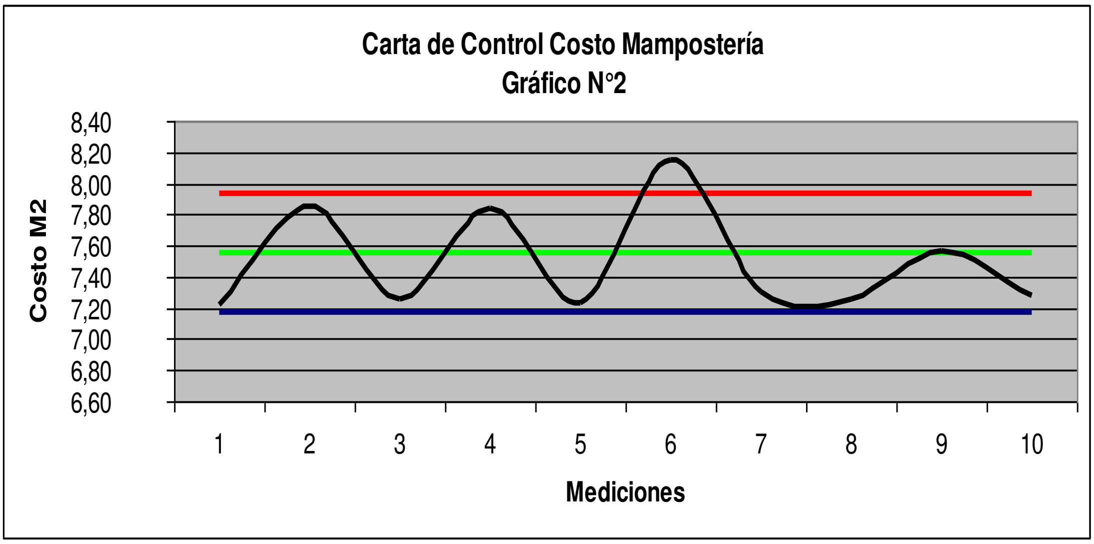
$\bar{x} = 7{,}55$

cv. = 2 %

desv Std = 0,13

a = 5%

Lo que define un límite inferior de 7,18 y un límite superior de 7,93, pero ¿que significan estos límites y cómo se interpreta el gráfico?



Los límites inferior y superior representan el rango donde se puede mover el costo y las variaciones que con respecto al estándar están atribuidas únicamente a causas aleatorias, cualquier punto que se salga de este rango tiene que ser investigado porque indica que el proceso está fuera de control y que la variación de ese costo frente al estándar obedece a causas atribuibles.

Con fines didácticos e ilustrativos en el anexo N°1 se presenta la tabla de valores observados, los mismos que fueron construidos con un generador de números aleatorios de tal forma que se pueda evidenciar la diferencia entre un punto fuera de control y puntos bajo control.

Como se puede ver en el gráfico N° 2 todos los puntos están dentro del rango excepto el punto seis que tiene un costo de 8,15 superior al 7,93 definido como costo máximo aceptable.

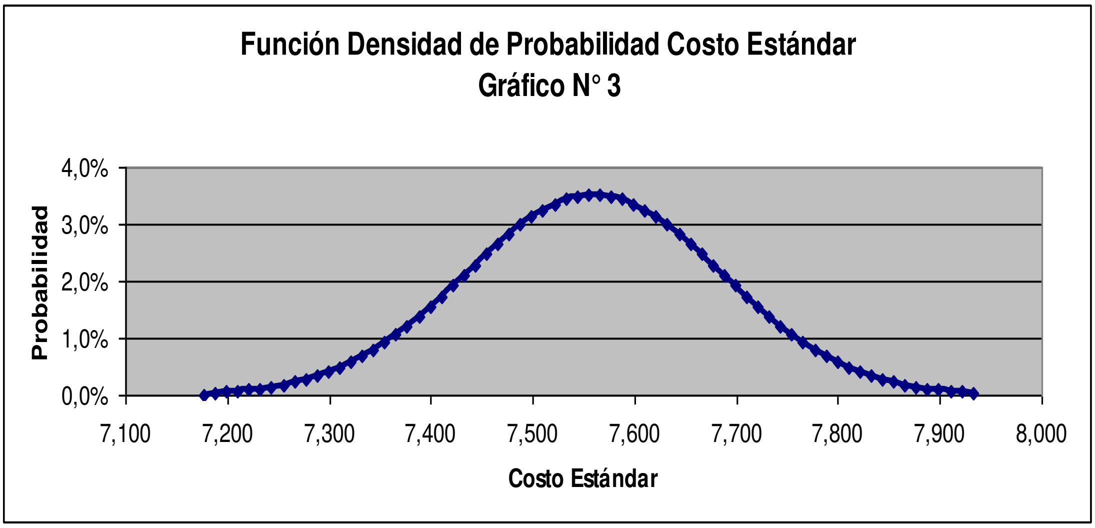
Una vez que se han definido los gráficos de control "CEP" se determinan tres hipótesis que son:

1°) La variabilidad de los resultados se debe a un sistema de causas aleatorias.

2°) El sistema de causas aleatorias genera un universo de observaciones que tienen una distribución normal.

3°) Cuando aparece una causa asignable por desviaciones adicionales en los resultados, se dice que el proceso está fuera de control.

Si se acepta la hipótesis de que las observaciones tienen una distribución normal y que los límites inferior y superior se encuentran entre el costo estándar más menos tres sigma se concluye que el 99 % de las observaciones por causas aleatorias deben estar dentro de esos límites.



Cuando un proceso está bajo control los costos que se toman semanalmente deberán fluctuar aleatoriamente entre los límites de control, sin ningún patrón de comportamiento que se pueda identificar.

En trabajos realizados en la industria naval (construcción de barcos), se han detectado los siguientes comportamientos de los costos cuando los procesos están bajo control:

"1°) No hay puntos fuera de los límites de control

2°) El número de puntos arriba y abajo del eje central son aproximadamente iguales.

3°) Los puntos parecen caer al azar arriba y abajo del eje central.

4°) La mayor parte de puntos pero no todos, se encuentran cerca del eje central y solo unos pocos cerca de los límites de control".[3]

Además de los puntos que se encuentren fuera de rango es importante tomar en cuenta los siguientes patrones de comportamiento, mismos que representan una llamada de atención al analista:

Seis ó más puntos consecutivos aumentan ó disminuyen de manera constante marcando una tendencia.

Ocho ó más puntos se ubican de forma consecutiva en el mismo lado del eje central.

Catorce ó más puntos se ubican hacia arriba y hacia abajo del eje central, de forma

[3] Control y Reducción de Costos mediante Control Estadístico de Procesos; www.monografías.com; Mauricio León Lefcovich

alternativa.

"Los siguientes criterios de alarma, dados por Grant y Leavenworth (1988):

Siempre que en la gráfica de control haya 7 puntos sucesivos ubicados en el mismo lado del LC.

Siempre que en la gráfica de control, en una sucesión de 11 puntos al menos 10 se encuentren del mismo lado del LC.

Siempre que en la gráfica de control, en una serie de 14 puntos al menos 12 estén del mismo lado del LC.

Siempre que en la gráfica de control, en una sucesión de 17 puntos al menos 14 estén del mismo lado de la LC.

Siempre que en la gráfica de control, en una serie de 20 puntos al menos 16 estén del mismo lado del LC". [(4)]

Aumento de la productividad a través de mejora continua usando "CEP".-

El costo estándar del m^2 de mampostería definido por la Cámara de la Construcción de Quito y detallado en el cuadro N° 1 de forma resumida muestra lo siguiente:

Estándar de materiales :

Bloques 13

Con las siguientes medidas 0,40X0,20X0,15.

Mortero para soldadura 0,020 m^3, Costo de la M O US 1,83 por m^2

Costo de herramientas US 0,16.

En estricto rigor se debería analizar la M O y la herramienta en términos de estándares de tiempo, pero para facilitar la explicación se omite el paso de transformar los estándares de tiempo a dólares.

El cuadro N° 3 es un análisis del cuadro N° 1 y básicamente muestra que para cubrir un metro cuadrado de mampostería utilizando 2 cm de soldadura con mortero 1:6, se necesitan 10,82 bloques; ya que cada bloque cubre 0,092 m^2.

Sin embargo el estándar pide 13 bloques por lo que se asume que la diferencia entre 13 y 10,82 es el desperdicio que normalmente hay en todo rubro de construcción en este caso en particular es 16,7 %.

[4] Control de Calidad, Jerry Banks, pag.169

En la construcción de mampostería, es común el uso del bailejo para cortar los bloques que no entran enteros, este procedimiento produce gran cantidad de desperdicios porque al no ser el bailejo una herramienta de corte, sino para poner mortero las fracciones de bloque sobrantes, se rompen en un alto porcentaje quedando inservibles, si se obliga al operario a usar una amoladora y hay una buena supervisión del residente de obra para controlar los desperdicios, estos pueden reducirse al 2%, de acuerdo al criterio de ingenieros experimentados.

Normalmente al operario de la construcción, no le gusta hacer este cambio de herramienta, porque implica dejar el bailejo a un lado, tomar la amoladora, cortar y tomar otra vez el bailejo para pegar el bloque.

Cuadro N° 3
Análisis de mampostería

Resistencia del bloque	25 - 30 kgs/cm2	
Largo del bloque	0,400	cm
Ancho del bloque	0,200	cm
Altura	0,150	cm
Mortero para soldadur	0,020	m3
Alto de soldadura	0,020	cm
Area que cubre un blo	0,092	
Bloques por m2	10,82	
Estándar según cuadr	13	
Desperdicio	-16,7%	
Costo estándar por m2	7,55	

Si se considera que el tiempo que se demora el operario en cortar el bloque con una amoladora es mayor al tiempo que se demora en partir el bloque con bailejo, la productividad de la mano de obra baja ya que hará menos metros cuadrados de mampostería por cada jornada de trabajo; en consecuencia el costo de la mano de obra se aumenta porque hace menos en el mismo tiempo.

Es decir por una parte aumenta la productividad de los materiales porque se hace la misma cantidad de mampostería con menos bloques y por otra parte disminuye la productividad de la mano de obra por las razones expuestas.

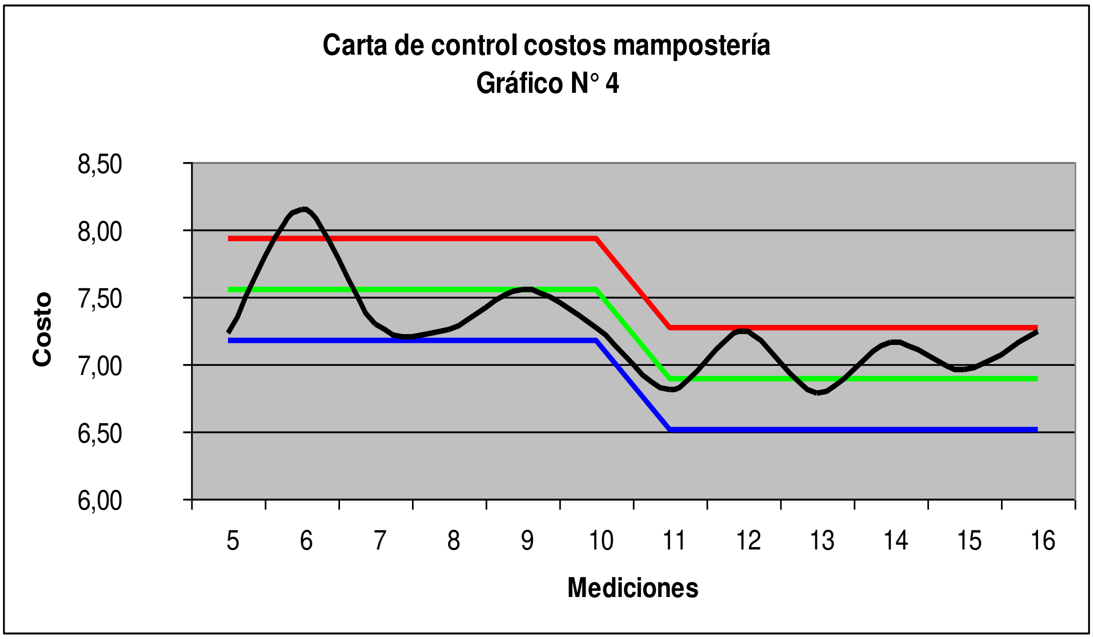
Mejora continua
Cuadro N° 4
Análisis de mampostería

Resistencia del bloque	25 - 30 kgs/cm2		
Largo del bloque	0,40	cm	
Ancho del bloque	0,20	cm	
Altura	0,15	cm	
Mortero para soldadura	0,020	m3	
Alto de soldadura	0,020	cm	
Area que cubre un bloque	0,09	m2	
Bloques por m2	10,82		
Desperdicio	0,02		
Bloques requeridos	11,04		
Estándar según cuadro N° 1	13,00		
Resumen de costos	**Estándar**	**P/U**	**Costo**
Bloque de carga 15X20X40	11,04	0,35	3,86
Auxiliar mortero arena 1:6	0,02	50,37	1,01
Costo M.O.			1,86
Costo Equipo			0,16
Costo total			6,89

El cuadro N° 4 muestra el resultado de este cambio en la operación con una disminución de costos del 8,8 % debido a la mejor productividad del proceso en su conjunto.

Cuando un costo ha sido disminuido por efectos de mejora en el proceso, el gráfico de control debe moverse hacia el nuevo eje central y se recalcula los límites superior e inferior.

El gráfico N° 4 muestra la mejora registrada en el costo del m^2 de mampostería



Hasta la décima medición el gráfico muestra el estándar anterior, desde la medición once el eje central se ha movido hacia abajo con el nuevo costo estándar de US 6,89 y sus límites de control fluctúan entre 6,52 y 7,27.

Queda claro que si a futuro los costos reales observados del rubro de mampostería caen fuera del área de control puede ser porque se aumentaron los desperdicios más allá del estándar ó porque no se están usando las mezclas en las proporciones correctas y se corre el riesgo de edificar mamposterías débiles.

El ejemplo hasta aquí analizado ha servido para plantear el modelo "CEP", de control de los costos de producción, pero no se ha visto como se investigan los costos fuera de control y que relación existe entre el costo y las variables de calidad que deben satisfacerse.

Es evidente que en esta industria las variables de productividad, están fuertemente ligadas a las variables de calidad, así por ejemplo una disminución de cemento en un hormigón reduce el costo de producción del hormigón, pero debilita la resistencia del material en perjuicio de la durabilidad e incluso de la seguridad de la edificación por lo que atado al modelo "CEP" de costos debe estar un modelo "CEP" de calidad.

Se ha visto que el modelo "CEP" de costos evalúa la totalidad de las observaciones, es decir evalúa el universo, en el caso del modelo "CEP" de calidad, esto no es posible ya que el proceso productivo tiene diferentes actividades y subactividades unas susceptibles de muestreo aleatorio, otras medibles en su totalidad y otras no evaluables a través del modelo "CEP" sino a través de inspección física.

Entre los procesos susceptibles de muestreo aleatorio está básicamente la resistencia de materiales, existiendo algunos elementos como los morteros, hormigones, bloques y ladrillos que deben ser evaluados.

Muestreo aleatorio.-

Un buen ejemplo es la construcción de corrales, para cerdos, los corrales son construidos con bloque pesado y deben tener la suficiente resistencia para soportar las continuas envestidas de los animales.

El bloque usado para esta actividad debe tener una resistencia entre 30 y 40 Kgs/ cm^2, con una media de 35 Kgs/ cm^2

El procedimiento para verificar estos parámetros es tomar 3 bloques por cada camión y enviarlos al laboratorio para hacer pruebas de resistencia.

Gráficos de Control.-

Los gráficos de control se diseñan por cada variable y es práctico controlar la media y la dispersión; el control de medias se lo hace a través del gráfico X y el control de dispersión a través de gráficos de control del rango ó de la desviación estándar.

Gráfico de control de medias.-

Cuando el eje central de comparación es un estándar se fijan los límites de control con la siguiente función:

$$Ls = \mu + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$Li = \mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Se utiliza sigma sobre raíz de n, porque se supone que se trabaja con una distribución de medias muestrales, cuya varianza es la n-esima parte de la varianza del universo, mientras que la media de la distribución muestral es la misma media de la población.

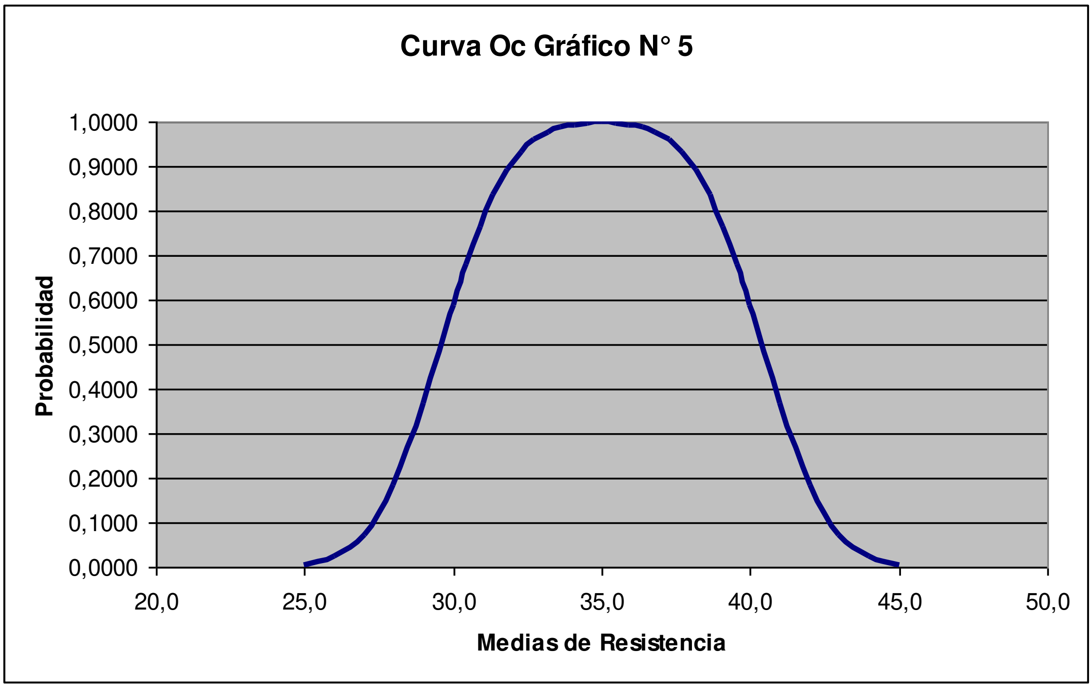
Esto implica que la probabilidad de que cualquier media caiga en el intervalo fijado por la función anterior es $(1-\alpha)$, donde alfa es el error tipo I ó nivel de significación que equivale a afirmar que el proceso está fuera de control cuando en realidad no lo está.

Las curvas de característica de operaciones que detectan el error tipo I, miden la probabilidad de que la media μ se encuentre entre los límites de control.

Si se fija un z = 3, $\alpha = 0{,}002699$, implica que la probabilidad de que una observación caiga dentro de los límites de control es del 99,7 %.

Si se evalúa el bloque con $35\text{kgs}/cm^2$ de resistencia aceptándose una variación máxima de $5\text{kgs}/cm^2$ y una probabilidad de 99,7%, se tendrá que la desviación estándar es de 3,11; si $\alpha = 0{,}0027$ (z=3), los límites de control estarían entre:

$$Ls = 35 + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 35 + 3\frac{3{,}11}{\sqrt{3}} = 40$$
$$Li = 35 - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 35 - 3\frac{3{,}11}{\sqrt{3}} = 30$$



Como se puede apreciar en el gráfico cuando la resistencia del bloque es de $35\text{Kgs}/cm^2$ la probabilidad es del 99,7%, es decir estas son las condiciones bajo las que tendría que trabajarse para evaluar las muestras de bloque.

La valía de este gráfico es poder contestarnos preguntas como por ej. ¿Cuál sería la probabilidad de detectar un movimiento de la media hasta 38 Kgs/cm^2?.

A simple vista se puede decir que esa probabilidad es aproximadamente de 90 %, el cálculo exacto está dado por la siguiente ecuación:

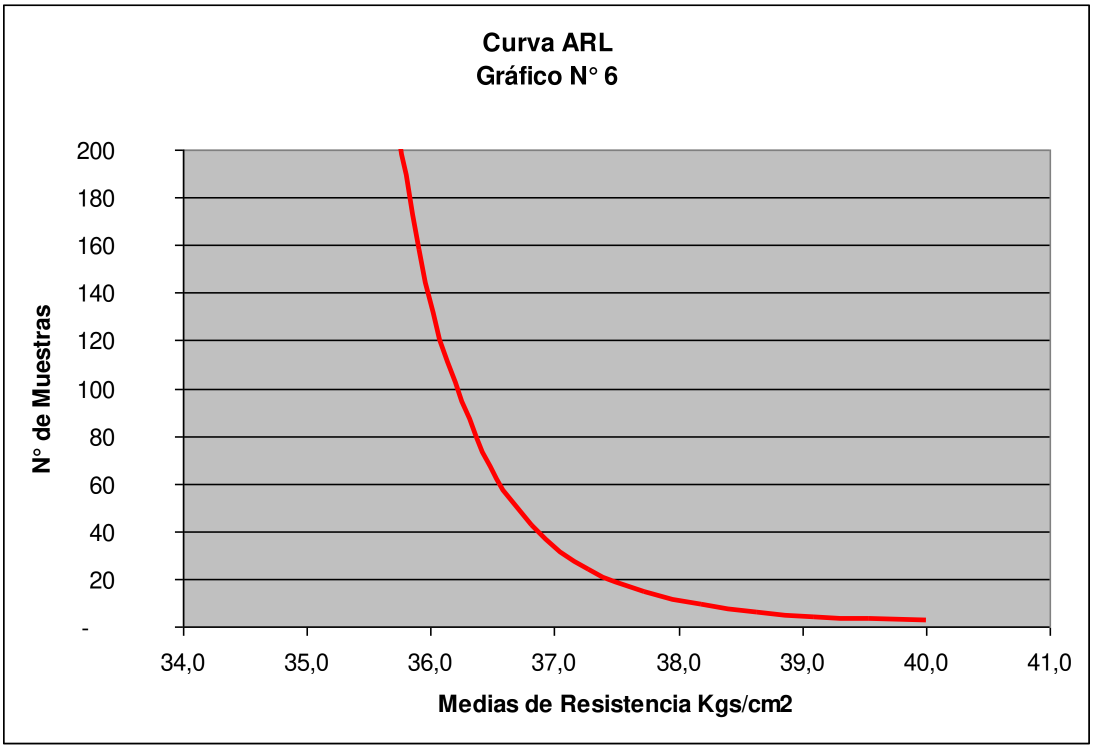
$p(z > \frac{Ls - x}{\sigma / \sqrt{n}}) = (40 - 38)/(3{,}11/\sqrt{3}) = 1{,}3307 \Rightarrow 90{,}84\%$, cálculo que comprueba la predicción del gráfico.

Ahora es necesario determinar el número de muestras que permitan controlar el error de tipo II, es decir afirmar que el proceso se encuentra bajo control cuando en realidad no lo está, para este efecto se utilizan las curvas ARL que como se verá a continuación funcionan de la mano con las curvas características de operación.

En términos generales las curvas ARL, permiten determinar con media μ el número medio de muestras que son necesarias hasta que una muestra se salga de los límites de control.

$ARL(\mu) = \dfrac{1}{(1 - OC_{(\mu)})}$ Donde $(1 - OC_{(\mu)}) = \alpha$. y OC es la curva característica de control.

Continuando con el ejemplo anterior si se quiere saber ¿cuántas muestras son necesarias? en términos medios para detectar que la media se movió de 35Kgs/cm^2 a 38kgs/cm^2, se utiliza el gráfico ARL, con $\alpha = 0{,}0296$ de acuerdo al cálculo de la OC.



El gráfico determina alrededor de 10 muestras, si se aplica la fórmula antes expuesta se tiene:

$$ARL(\mu = 35) = (\frac{1}{\alpha}) = \frac{1}{0{,}0296} = 11$$

Esto significa que en termino medio cuando el proceso se desajusta tendrán que pasar 11 muestras hasta que una observación se salga de los límites, por lo que en este caso sería recomendable investigar no solamente la última muestra sino las últimas once.
El gráfico de medias evalúa el proceso por lo que las muestras deben seleccionarse de tal formas que se maximice la probabilidad de diferencias entre las medias muestrales, en ese sentido es correcta la toma de las tres muestras, al inicio, al intermedio y al final de la descarga del camión.

Gráfico de control de rango.-
La construcción de gráficos de control de rango cuando se trabaja con estándares viene dado por las ecuaciones siguientes:

$$Ls = D_2\sigma$$
$$Li = D_1\sigma$$
$$\bar{R} = d_2\sigma$$

Para calcular la desviación estándar se parte de la variación (máximo hacia arriba menos estándar) y se despeja la ecuación como se muestra a continuación:

$$\Delta = Z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$
$$\sigma = \frac{\Delta\sqrt{n}}{Z_{\alpha/2}}$$

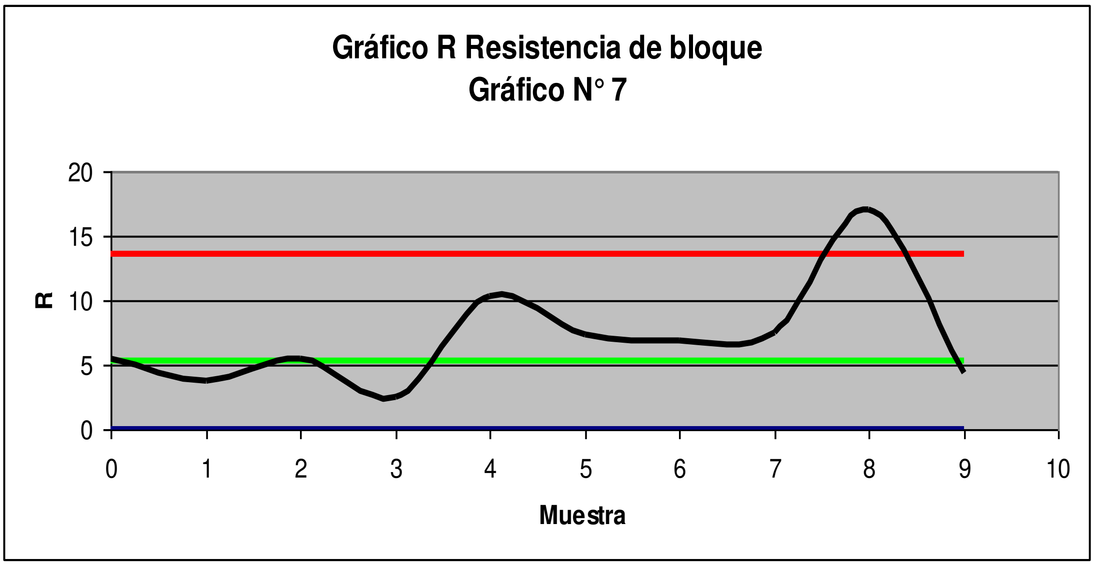
Las constantes D están tabuladas en la tabla medias, desviaciones típicas y rangos que se adjuntan como anexos y fundamentalmente dependen de n (tamaño de la muestra), al igual que en el gráfico de medias se elige un α para el error tipo I y con el n, se busca los D en la tabla, para luego aplicar las ecuaciones y obtener el gráfico de control.

Aplicado este procedimiento al ejemplo del bloque de 35Kgs/cm^2 de resistencia se tiene:

Cuadro N° 5
Construcción del gráfico R

D1	0
D2	4,358
d2	1,693
n	3,00
Sigma	3,11
alfa	0,00270
(1-alfa)	0,9973
Ls	13,57
Li	0
d1	5,27

Mientras el gráfico de medias controla el proceso como quedó señalado, el gráfico de rango R, controla la variabilidad dentro de la muestra así por ejemplo si una muestra viene dada por los resultados de resistencia de tres bloques con valores de 29; 46.1 y 30 la media de la muestra es 35 valor que está dentro de los límites de control de la media, sin embargo el rango es de 17,1 valor que es más alto que el límite superior de control del rango, si se analizan los valores individuales de cada bloque se observa que dos de los tres están fuera de rango (29 y 46,1), como puede observarse en el gráfico siguiente



Se ha examinado en detalle la construcción de gráficos X y gráficos R, cuando las variables son evaluadas a través de estándares; en la industria de la construcción y más aun en la construcción de instalaciones para animales, la regla es el uso de estándares como los que se ha visto, sin embargo no siempre los gráficos X , son los más adecuados para mantener los procesos bajo control , con insistencia se ha mencionado que una de las responsabilidades más importantes del constructor es controlar los niveles de resistencia de materiales , Si se toma como ejemplo la elaboración de hormigones, el procedimiento es como sigue:

Los técnicos manejan las resistencias de hormigones tomando pruebas en cilindros que son etiquetados y enviados al laboratorio para medir su resistencia.

Cuando son hormigones premezclados, por cada mixer de 8 m^3, toman tres muestras, una al inicio del bombeo, otra a los $4m^3$ y la última al finalizar el vaciado del hormigón.

Cuando los hormigones se fabrican en la obra las muestras se toman en períodos de tiempo aproximadamente uniformes dependiendo de los volúmenes a fabricar.

Las resistencias más usadas son:

140 Kgs./cm^2 para replantillos,

180 Kgs./ cm^2 para hormigón de cimentación y

210 Kgs./ cm^2 para hormigón de vigas, columnas y lozas.

240 Kgs./ cm^2.

310 Kgs/ cm^2

Estos valores de resistencia no son un estándar promedio, es decir no se los podría asociar con un estándar para un gráfico X, más bien son la exigencia que se debe cumplir, la fiscalización de una obra no maneja rangos de variación hacia arriba y hacia abajo sino solamente cumple ó no cumple, en este sentido el gráfico de control que aplica es un gráfico tipo p.

Gráficos p

Los gráficos p están asociados a una decisión de conformidad o disconformidad, la base de estos gráficos es la distribución binomial, con parámetros p y n; p es la probabilidad de encontrar un incumplimiento y n es el tamaño de la muestra; p debe ser constante y los eventos independientes.

Los gráficos p pueden ser estudiados a partir de una probabilidad conocida la misma que puede ser una norma, un estándar ó una decisión técnica de la empresa también pueden ser estudiados a partir de probabilidades desconocidas.

En el caso particular de la industria de la construcción la probabilidad de no cumplir la norma de resistencia es desconocida, es más cada constructor tiene diferente probabilidad de cumplimiento ó incumplimiento del estándar.

La probabilidad de no cumplir con la norma está dada por la siguiente ecuación:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^{m} D_i}{mn} = \frac{\sum_{i=1}^{m} \bar{p}_i}{m}$$; Donde:

$\bar{p} = probabilidad$

$D_i = disconformidades$

$m = N°muestras$

$n = tamaño$

$muestral$

Cuando se desconoce $\bar{p}$, se toman m muestras (al menos 20), se calcula el parámetro $\bar{p}$; luego se calculan los límites de control con las siguientes ecuaciones:

$$Ls_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$Ls_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

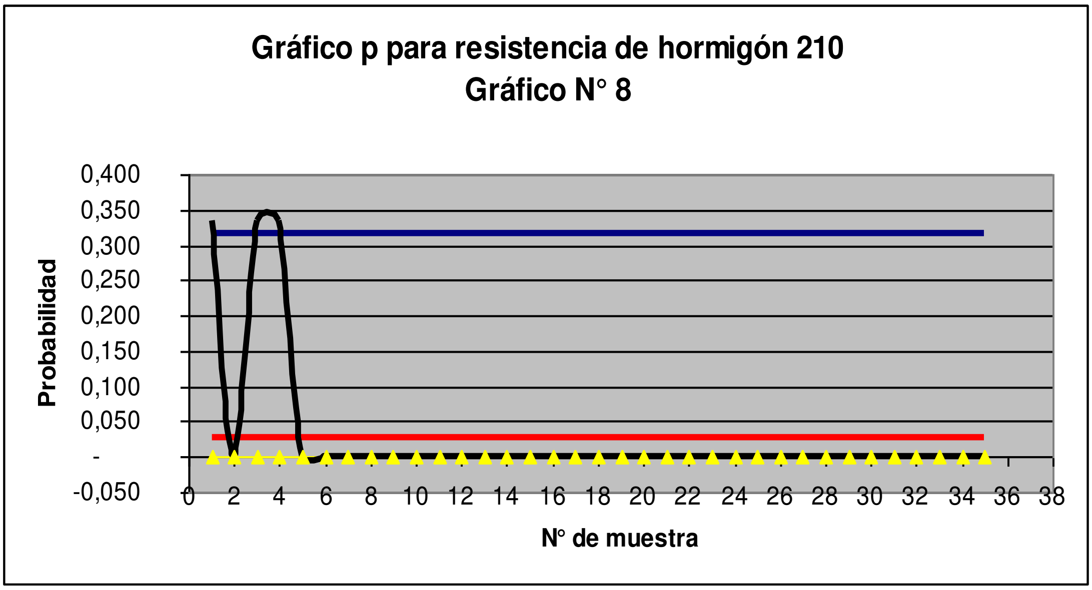
y se grafican los puntos de la muestra usando la misma técnica de los gráficos X.

Para demostrar la aplicación del gráfico p a la resistencia de hormigones se utilizará una muestra de 105 cilindros tomados de tres en tres, que gentilmente nos proporcionó la Hormigonera Zimramp S.A. y que adjuntamos en el anexo N° 2

El resumen de los resultados de la rotura de cilindros , de la aplicación de la ecuación $\bar{p}$ y de las ecuaciones de límites se muestran el cuadro N° 6.

Cuadro N° 6
Cálculo de límites gráfico p

D(i)	3,00
n	3,00
m	35,00
k	3,00
Ls	0,317
p	0,029
Li	-0,260



El gráfico N° 8 deja ver que tres observaciones cayeron fuera del límite superior de control , esto indica que el proceso está fuera de control y que hay que investigar las causas de ese fuera de control , si una vez realizada la investigación se determina que esas observaciones son fruto de causas asignables, se eliminan esas observaciones de una en una y se repite el procedimiento , hasta que todos los puntos queden dentro del área de control del gráfico, si una vez investigados los puntos fuera de control no se determinan las causas del no cumplimiento , se aceptan como que fueron provocados por causas aleatorias. Así definidos $\bar{p}$ y el gráfico de control, se reconoce como gráfico de control oficial al que se ha encontrado por este método.

En el caso de la muestra analizada, no se encontraron causas asignables por lo que se acepta el gráfico como adecuado para iniciar el control del proceso.

Tamaño de la muestra.-

Como norma general si p es pequeño la muestra n debe ser lo suficientemente grande para poder detectar cambios en p.

"Duncan (1.986) afirma que el tamaño de la muestra debe ser lo suficientemente grande para que la probabilidad de detectar un cambio especificado, δ, en la muestra siguiente sea 0,5 mediante la aproximación binomial a la distribución normal con límites de 3 sigmas, el tamaño de la muestra n, está dado por

$$n = \frac{9\,\bar{p}(1-\bar{p})}{\delta^2}$$,, [5]

Para el ejemplo, si queremos detectar el cambio de p de 0,029 a 0,317, es decir si queremos detectar el cambio cuando la observación se va ha salir de control con una probabilidad del 50%, el tamaño de la muestra debe ser de 3.

n = 0,25343/0,08294 = 3.

En resumen se usará el gráfico de control con $\bar{p} = 0{,}029$ y Ls = 0,317, en cuanto al límite inferior se deberá usar cero por cuanto el cálculo da un número negativo, y la muestra debe ser de tamaño 3

Capacidad del proceso.-

La capacidad del proceso es la medida que permite predecir la reproducibilidad uniforme de un producto que está bajo control estadístico y que obedece a una combinación única de máquina, herramientas métodos de trabajo y personal.

La razón para calcular la capacidad del proceso es medir la habilidad del mismo para mantener al producto bajo especificaciones, el proceso tiene limites de tolerancia naturales que están definidos por la maquinaría, personal, etc. pero, el producto tiene especificaciones que están definidas por el cliente, ó por grupos de interés en el producto final.

Para el caso de esta investigación interesa mantener bajo control estadístico el costo de los diferentes rubros de construcción y como en los anteriores ejemplos se utilizará el costo del m^2 de enlucidos con mortero 1:3 más impermeabilizante.

[5] Control de Calidad; Jerry Banks; pag 182

En la construcción de granjas porcinas esta actividad se aplica a la edificación de las casas de vivienda para el administrador de la granja y en la casa de oficinas.

Dado que para medir la capacidad del proceso son necesarios datos reales y que al momento no se cuenta con esta información en las granjas de Pronaca, usaremos datos reales de la construcción del conjunto habitacional "Portal del Edén", edificado al norte de la ciudad de Quito; como se mencionó antes el rubro aplica a la construcción de viviendas y oficinas por lo que el resultado que se obtenga de esta prueba es valido para la presente propuesta.

El análisis de la capacidad del proceso requiere que la variable estudiada, sea continua, tenga distribución normal y que esté bajo control estadístico, es decir que las variaciones no obedezcan a causas asignables, sino únicamente a causas aleatorias.

Para el caso que se presenta no se puede afirmar de forma categórica que los costos estén estrictamente bajo control estadístico ya que si bien es cierto los esfuerzos por mantener los costos bajo control son una norma en todas las empresas, pero eso no implica que haya habido un proceso técnico estadístico para su control, sin embargo como esta investigación está partiendo de cero se va ha suponer que los datos con los que trabajaremos están bajo control estadístico (ver anexos 4 y 5).

Se ha mencionado que el proceso tiene sus límites de tolerancia naturales y que por otra parte la variable analizada tiene sus especificaciones ó límites de especificación.
La capacidad del proceso dirá como se comporta el proceso, respecto de las especificaciones.

Los límites del proceso por lo general se deben determinar con los valores del universo poblacional, con una muestra grande ó con muchas muestras pequeñas, cuando se usan muestras se considera que la media y la desviación estándar de la muestra son la media y la desviación estándar de la población.

Los límites naturales de tolerancia son del proceso y los límites de especificación son del producto. partiendo de estos dos conceptos se tiene ICP (índice de capacidad del proceso), mismo que:

$ICP = \dfrac{LSE - LIE}{6\sigma}$; Donde LSE, es el límite superior de la especificación y LIE, límite inferior de la especificación.

Para determinar la capacidad del proceso se exige la normalidad de la variable analizada, usando la prueba Chi cuadrado con una muestra de 100 datos de costo unitario de enlucido con mortero 1:3 más impermeabilizante se probará la hipótesis nula Ho de que la distribución de estos costos obedece a una normal ó se rechazará la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alternativa H1 que la distribución de los costos no es normal con un nivel de significación del 1 %.

En el cuadro N° 7 y la gráfica N° 9 se presenta la distribución de frecuencias absolutas de los mencionados costos con $\mu = 4{,}965$ y $\sigma = 0{,}026$.

En tanto que los límites de especificación están dados por:

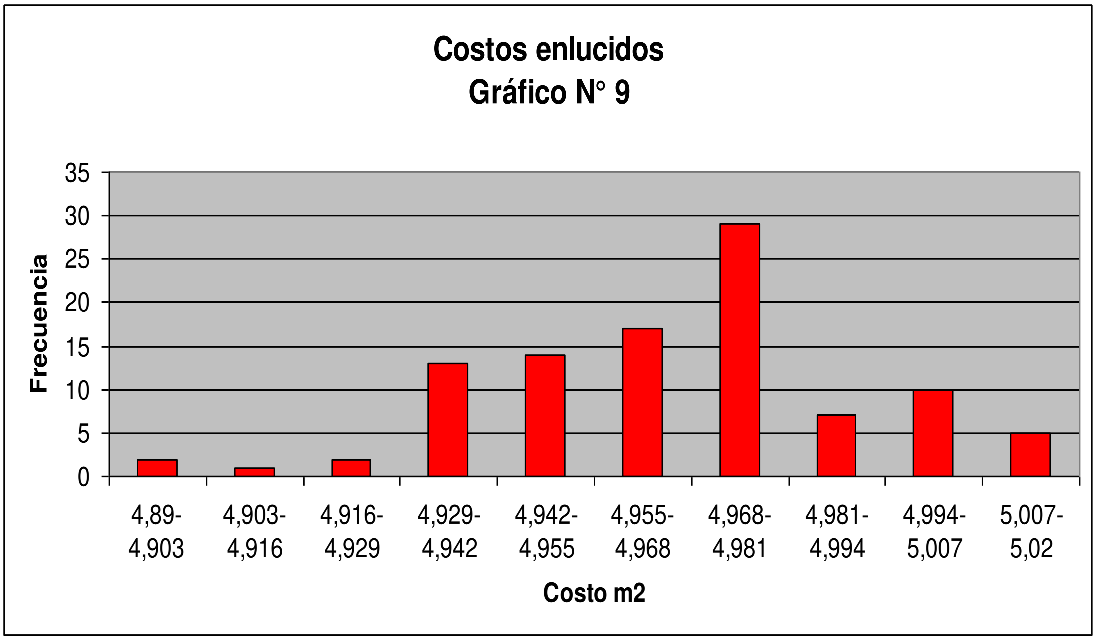
$LSE = 5{,}07$

$LIE = 4{,}82$

Esto implica que $ICP = \dfrac{5{,}07 - 4{,}82}{6(0{,}026)} = 1{,}61$, dato al que se analiza más adelante.

Cuadro N° 7
Distribución de frecuencias del Costo de enlucidos
Con mortero 1:3 e impermeabilizanta

	Lim inf.	Lim sup.	Frecuencia absoluta
	4,89	4,903	2
	4,903	4,916	1
	4,916	4,929	2
	4,929	4,942	13
	4,942	4,955	14
	4,955	4,968	17
	4,968	4,981	29
	4,981	4,994	7
	4,994	5,007	10
	5,007	5,02	5
n			100
Media	4,965		
Desv. Est	0,026		



Utilizando la ecuación del estadístico de prueba para Chi cuadrado que se representa por χ^2 se tiene:

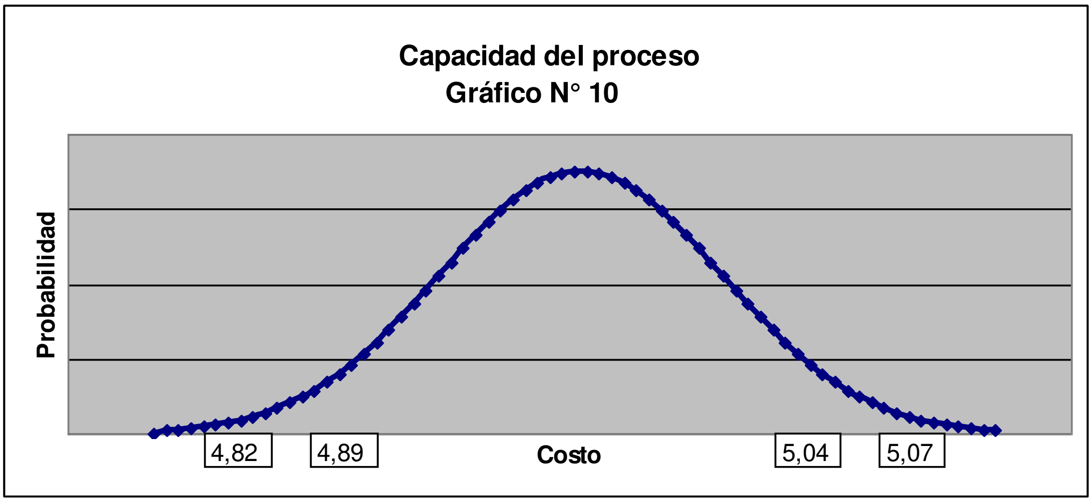
$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$; Donde O_i, es la frecuencia del intervalo de clase i-esimo; y E_i, es la frecuencia previsible de cada intervalo de clase calculada como $E_i = np_i$, donde n es el tamaño de la muestra 100 y p_i es la probabilidad del intervalo i-esimo.

Cuadro N° 8
Prueba Chi cuadrado para costos de encluciddo
Con mortero 1:3 e impermeabilizante

Lim inf.	Lim sup.	Frecuencia absoluta	P(4,72<=X=>5,12)	np	Prob	E(i)	(Oi-Ei)^2/Ei
4,89	4,90	2	0,0062	0,62	0,008	0,801	
4,90	4,92	1	0,0204	2,04	0,020	2,044	
4,92	4,93	2	0,0523	5,23	0,052	5,234	1,173
4,93	4,94	13	0,1045	10,45	0,104	10,446	0,624
4,94	4,96	14	0,1625	16,25	0,163	16,254	0,313
4,96	4,97	17	0,1972	19,72	0,197	19,718	0,375
4,97	4,98	29	0,1865	18,65	0,186	18,648	5,746
4,98	4,99	7	0,1375	13,75	0,138	13,750	3,314
4,99	5,01	10	0,0790	7,90	0,079	7,904	0,556
5,01	5,02	5	0,0354	3,54	0,052	5,200	0,008
n		100			1,000	100,000	12,108
Media	4,965						
Desv. Est	0,026						

De acuerdo al cuadro N° 8 el valor de chi cuadrado calculado es 12,11, mientras que el valor de $\chi_{0,01;5}{}^2 = 15{,}09$ por lo que se acepta la hipótesis nula de que la muestra sigue una distribución normal, y la capacidad del proceso puede estimarse como:

$\bar{x} \pm 3\sigma = 4{,}965 \pm 3(0{,}026) =$ 4,89 y 5,04



Cuando ICP > 1, significa que los límites de especificación son mayores que los límites naturales de tolerancia, para el presente caso ICP = 1,61 de los cálculos y del gráfico N° 10, se puede ver con toda claridad que los límites naturales de tolerancia del proceso son menores a los límites de especificación.

Esto significa que en principio el proceso no tiene ningún problema para reproducir las especificaciones de costo establecidas, empero de acuerdo a la literatura cuando ICP>1, se estima que para procesos nuevos como es este el caso este valor debería estar en alrededor de 1,5, valores mayores pueden ser consecuencia de una mala selección de los límites de especificación, en estos casos es recomendable revisar los límites de especificación ó incluso reducirlos.

Es importante destacar que en esta investigación al no contar con información verificada se trabajó con datos que pueden tener algún sesgo y no cumplir con la condición de mantener únicamente la variación aleatoria.

Pero de otro lado queda confirmado que un modelo "CEP" para controlar y reducir los costos en la industria de la construcción es altamente efectivo y que cumple con los requisitos básicos de continuidad y normalidad en las variables.

También es importante medir la capacidad del proceso en relación a sus límites inferior y superior , ya que es posible que ICP , sea mayor que 1 , pero que una de las colas de la distribución no sea capaz de alcanzar las especificaciones de la variable en estudio para esta medición se usan las siguientes ecuaciones :

$$ICP_s = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} = \frac{5{,}07 - 4{,}97}{3(0{,}026)} = 1{,}36$$

$$ICP_i = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} = \frac{4{,}97 - 4{,}82}{3(0{,}026)} = 1{,}87$$

Donde ICP_s es el índice de capacidad del proceso en el límite superior e ICP_i, es el índice de capacidad del proceso en su límite inferior, los otros parámetros ya se han definido.

Tanto el índice de capacidad del proceso en su límite inferior y superior ratifican que el proceso como está diseñado, es capaz de reproducir los costos hacia arriba de la media y hacia abajo, sin que en ninguno de los dos casos hayan observaciones que salgan hacia un área de no conformidad.

Implementación del "CEP" para control y reducción de costos.-

La implantación de un modelo de Control Estadístico de Procesos para controlar y reducir los costos de la construcción, en base a mejorar la productividad y la eficiencia implica establecer las siguientes actividades:

1° Seleccionar los rubros de construcción que van a ser evaluados.
2° Establecer los costos estándar y los límites de especificación para cada uno de ellos.
3° Determinar la capacidad del proceso por cada rubro.
4°) Crear los gráficos de control (gráfico X, p, etc. y Gráfico R)
5°) Diseñar un sistema para recoger los datos de forma periódica para la evaluación.

Los cuatro primeros puntos están directamente relacionados con la técnica estadística y han sido explicados con diferentes ejemplos.

Un sistema eficiente para recolectar los datos que serán analizados bajo el "CEP" debe estar relacionado con el sistema de inventarios, el sistema contable y en particular con el sistema de costeo.

La recomendación sería utilizar un sistema de costos por órdenes de producción, ya que este permitiría con gran versatilidad recoger los datos y preparar hojas de costos así como utilizar la misma información para la preparación de los gráficos de control.

Desde un punto de vista práctico y eficiente el sistema de costos puede contener al sistema "CEP".

Dadas las grandes cantidades de información que se maneja se hace necesario desarrollar una aplicación informática que maneje con la misma información los dos sistemas (Costos y "CEP").

La Contabilidad por lo general es parte de un sistema ERP, por consiguiente el sistema de inventarios y el sistema de Contabilidad General estarían en el modulo del ERP, aunque los ERP, generalmente mantienen un módulo de costos, casi siempre estos sistemas no se adaptan a las condiciones particulares de cada empresa y terminan siendo reemplazados por desarrollos particulares que luego mediante interfaces se unen al ERP.

En la práctica, la propuesta de recolección, ingreso y análisis de la información sería la siguiente.

Al inicio de la semana de labores, el residente de obra pide a bodega, las materias primas, materiales y suministros, detallados en la orden de trabajo de acuerdo a los estándares establecidos para cada rubro como se muestra en el siguiente ejemplo.

Cuadro N° 9
Orden de Trabajo N° 1
Rquisisción de materias primas y materiales
Rubro de construcción : mampostería bloque de 15 cm

Materias primas	Unidad de medida	Estándar	Bolumen de obra	Cantidad
Bloques de carga de 15 cm	unidades	10,82	200	2.164,00
Cemento	Kgs.	6,18	200	1.236,00
Arena	m3	0,025	200	5,00

Para hacer más fácil la explicación se retoma el ejemplo del rubro mampostería analizado en los cuadros 1 a 4 .

Como ya se explicó anteriormente (cuadro N° 4), con la mejora alcanzada el estándar de bloques para un m^2 de mampostería son 10,82, el estándar de mortero es de 0,02 m^3 por m^2 de mampostería, esto a su vez implica 6,18 kilos de cemento y ,025 m^3 de arena por m^2 de mampostería (309X0,02 ver cuadro N° 2).
Esta orden de trabajo es ingresada al sistema ERP donde se efectúan las siguientes transacciones:

Sistema de inventarios:

a) Se reduce el inventario de bloque de 15cm en 2.164 unidades
b) Se reduce el inventario de cemento en 1.236 kgs.
c) Se reduce el inventario de arena en 5 m^3 .

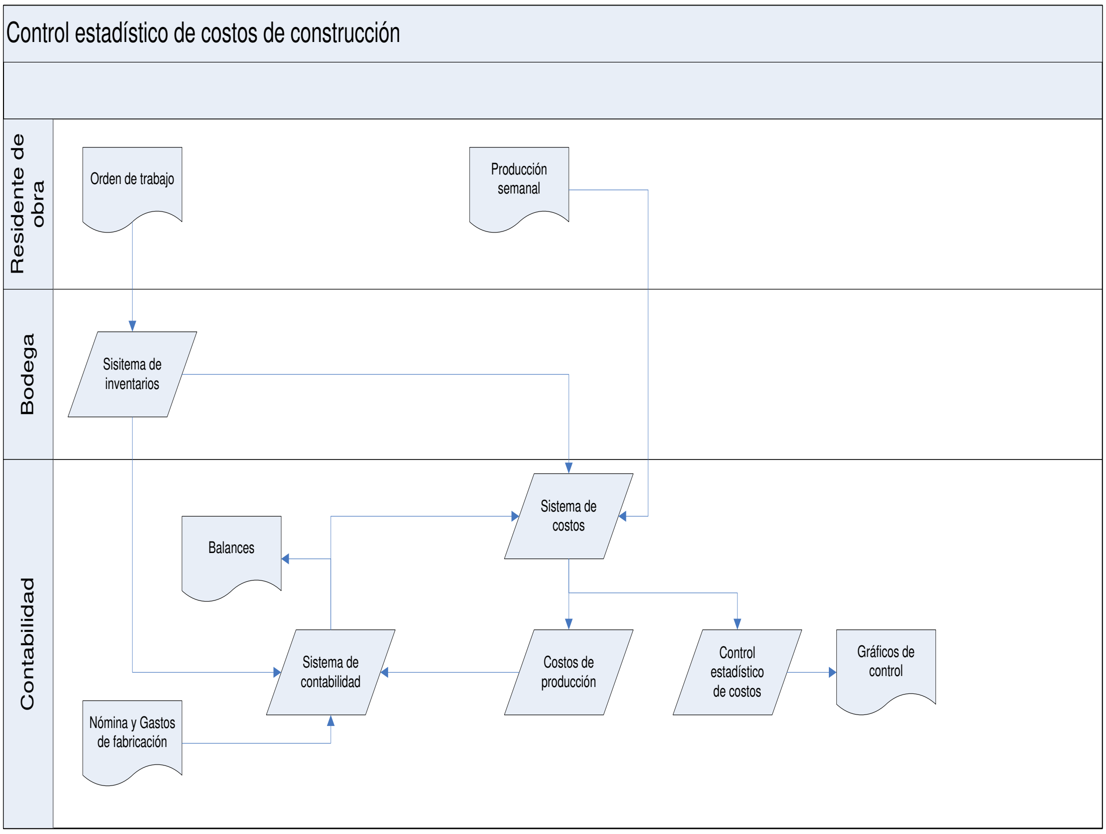
Sistema de Contabilidad General .

a) Carga a las cuentas de construcciones en curso el valor monetario de las transacciones del sistema de inventarios.
b) Descarga de la cuenta de inventarios de materias primas el mismo valor.

Como la utilización de materiales, así como el rendimiento de la mano de obra no son exactos en ninguna actividad productiva y la construcción no es la excepción, (recuérdese las variaciones aleatorias), ocurre que entre la semana pudieron haber pedidos adicionales de cemento, arena ó bloque ó en su defecto al final de la semana pudieron haber sobrantes de dichos materiales.

En cualquiera de los dos casos, a través de una orden de trabajo ó de una orden de retorno de materiales, se ajustan los sistemas de inventarios y de contabilidad.

Al finalizar la semana se realizan las mediciones de rutina y se reporta mediante el informe “Producción semanal”, mismo que sirve para pagar a los obreros y en este caso para capturar la información real del trabajo realizado.



El sistema de inventarios transfiere la información al sistema de costos como se muestra en el diagrama de flujo .

Siguiendo con el ejemplo, se tiene en el sistema de costos los bloques, el cemento y la arena.
Al sistema de costos se ingresa la producción semanal, donde constan las medidas de cada rubro tomadas el fin de semana.

Finalmente al sistema de contabilidad se ingresa el pago de nómina y los pagos por facturas asociadas a gastos de fabricación (energía eléctrica, suministros de oficina, etc), del sistema de Contabilidad, se transfieren los datos de nómina y gastos de fabricación al sistema de costos

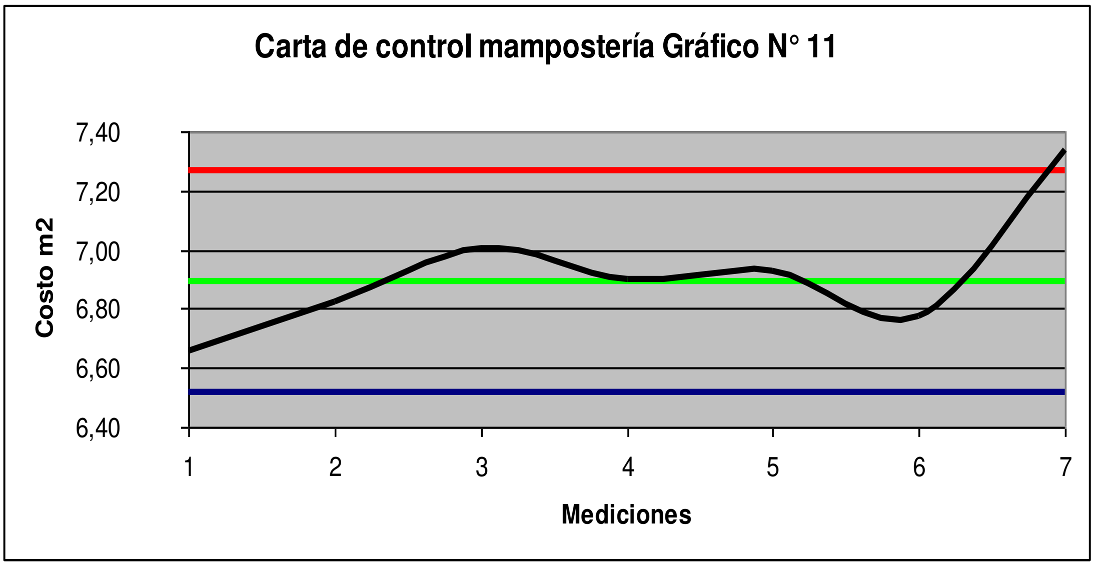
En este momento el sistema de costos tiene toda la información para calcular costos de producción y hacer los análisis del control estadístico de costos.

Como se muestra en el diagrama de flujo el sistema de costos arroja el costo de producción, el mismo que se retorna a la contabilidad general y sirve para la preparación de balances y el sistema de control estadístico de costos que servirá para detectar desviaciones respecto del estándar usando gráficos de control.

Siguiendo con el ejemplo de la orden de trabajo N°1, se supone que al final de la semana el pedido cerró con los siguientes valores:

Bloques	2.400 unidades
Cemento	1.400 Kgs.
Arena	5,2 m^3
Agua	0,308. m^3

Y se terminó de construir 200 m^2 de mampostería, El gráfico de control que el sistema nos mostraría sería el siguiente (gráfico N° 11).



El gráfico muestra que el último punto se encuentra fuera del límite superior de control por lo que se investigan las causa del desajuste.

Del sistema de costos se extrae un comparativo del costo real observado vsus el estándar del de m^2 mampostería.

Cuadro N° 10
Mampostería bloque de carga e = 15 cm
Unidad de medida U - u m2
Mortero Cemento arena 1 : 6

Materiales		**Estándar**			**Real**				
Descripción	**Unid medida**	**Cantidad Estándar**	**P/U**	**Costo**	**Cantidad Real**	**P/U**	**Costo**	**Variación materiales**	**Variación en precios**
Bloque de carga 15X20X40	un	11,04	0,35	3,86	12,00	0,35	4,20	9%	0%
Auxiliar mortero arena 1:6	m3	0,02	50,37	1,01	0,02	56,10	1,12	0%	11%
Mano de Obra directa				1,86			1,86		
Costo de equipo				0,16			0,16		
Costo total				6,89			7,34		
Variación de costo							6,5%		

Como puede verse en el cuadro N° 10 existe una variación en materiales del orden del 9%, que se explica por el uso de 12 bloques por m^2 de mampostería en vez de 11,04 que exige el estándar.

También hay una variación del 11 % en el precio del mortero, como este elemento es un auxiliar del costo de la mampostería se extrae el costo comparativo entre el estándar del auxiliar y el costo real de la última semana de trabajo.

Cuadro N° 11
Auxiliar mortero Cemento arena 1:6
Unidad de medida U - u m3

Materiales		**Estándar**			**Real**				
Descripción	**Unidad /medida**	**Cantidad Estándar**	**P/U**	**Costo**	**Cantidad Real**	**P/U**	**Costo**	**Variación materiales**	**Variación en precios**
Cemento	Kg	309	0,13	40,17	350,0	0,13	45,50	13%	0%
Arena	m3	1,25	8	10,00	1,3	8	10,40	4%	0%
Agua	m3	0,308	0,66	0,20	0,308	0,66	0,20	0%	0%
Costo Total				50,37			56,10		
Variación de costo							11%		

El cuadro N° 11 muestra una variación en los materiales del orden del 13 % en cemento y del 4% en arena.

En resumen el incremento del costo en el m^2 de mampostería obedece a incrementos en el uso de materiales (bloque, cemento y arena).

En la construcción se manejan alrededor de 42 rubros auxiliares conformados básicamente por hormigones, morteros y encofrados, unos 80 rubros principales de albañilería adicionales es decir hay un total de alrededor de 122 rubros de precios unitarios que se pueden controlar a través de "CEP", en la práctica este número de rubros debe multiplicarse por el número de trabajos que se ejecutan al mismo tiempo durante la semana.

Una granja porcina puede mantener en construcción hasta 15 ó 20 galpones, si el cronograma de actividades prevé construir los mismos rubros al mismo tiempo en todos los galpones la cantidad de rubros a controlar es muy grande por lo que no se podría trabajar de forma manual y peor aun con un sistema que no entregue la información adecuada para la toma de decisiones de allí la utilidad de los gráficos de control que de forma muy rápida y objetiva nos llevan hasta donde está el problema.

En este punto es importante aclarar que la industria de la construcción en general y muy particularmente, la construcción de granjas porcinas, avícolas y de otras especies es una industria con un alto componente manual, son muy pocas las actividades que están mecanizadas, en este sentido los gráficos de control pueden ser un instrumento invalorable para controlar los desperdicios de materiales que en la práctica son las causas principales del encarecimiento de una obra.

La mano de obra está regulada porque en la industria se paga por rendimiento, es decir se paga a destajo, esto significa que se paga por cada unidad de rubro (se paga por m^2 de enlucido, m^2 de piso, etc), en otras empresas en cambio se paga jornal pero se asigna tareas lo que al fin es otra modalidad de pago pero con el mismo objetivo que es remunerar la productividad.
Empero estas formas de pago llevan a dos tipos de ineficiencias que a la larga son mucho más costosas.
La una es el exceso de desperdicio de materiales, si al obrero se le paga por avance de obra tratará de hacer lo máximo posible para ganar más sin importar el desperdicio que haya, ni la calidad del trabajo que ejecuta.

Si se le paga jornal pero se le asigna tarea, el obrero tratará de terminar lo más pronto posible para retirarse del trabajo y tampoco estará interesado en la calidad del trabajo.

De aquí la importancia de una buena supervisión y la necesidad de una herramienta técnica que permita administrar de forma eficiente la productividad del trabajo y de los recursos naturales.

En cuanto a la calidad de trabajo, esta puede tener dos efectos negativos por una parte puede descuidarse los parámetros de calidad como resistencias, de los hormigones que son factores críticos como quedó señalado anteriormente.

Pero la mala calidad de trabajo también encarece la obra en rubros futuros, por ejemplo una pared donde por el apuro de terminar se hayan pegado el bloque ó los ladrillos de forma desigual ó desaplomada, al momento de enlucir esa pared consumirá más cantidad de cemento porque con el enlucido se cubren las fallas de la mampostería.

CAPITULO III

SALARIOS VARIABLES.-

Modelo de salarios variables.-

En la industria de la construcción es de vital importancia el manejo de los salarios y los jornales, ya que como se ha manifestado reiteradamente es una industria con un alto componente de trabajo manual; en términos generales el componente de mano de obra en el costo global es de alrededor del 40%.

Pero no solamente es el costo de salarios y jornales el que debe merecer la atención del constructor, sino también la productividad de materias primas y materiales, como se explicó en el capítulo anterior los desperdicios y la mala calidad del trabajo tienen un impacto muy alto en los costos de construcción.

De otra parte hay que tomar en cuanta las características socioeconómicas del obrero de la construcción, pues se trata de la mano de obra menos calificada, el nivel de formación escolar en estos obreros es incipiente, un buen porcentaje de ellos son analfabetos, muchos proceden del campo y son propietarios de pequeñas parcelas agrícolas con niveles económicos de subsistencia.

Estas características socioeconómicas, hacen que el obrero de la construcción sea inestable en el trabajo, no tenga sentido de pertenencia a una empresa, la rotación y la movilidad de estos trabajadores es muy alta; cada semana de trabajo es posible encontrar que han salido unos trabajadores y han ingresado otros; el mismo hecho de que muchos trabajadores son de origen campesino hace que en épocas de siembra ó de cosecha, abandonen sus trabajos para dedicarse a la agricultura.

En este contexto el modelo salarial propuesto tendría dos módulos, un módulo para la mano de obra directa y un módulo para la mano de obra indirecta.

Los modelos de salarios variables de su parte están diseñados para premiar lo que se denominan variables críticas del éxito.

Para el diseño del sistema de salarios variables que a continuación se expone se han considerado las siguientes variables:

Costos.

Calidad

Recepción de materiales.

Adicionalmente, como una variable que está íntimamente relacionada con los costos, se considera el uso de materiales; variable que mide el desempeño de la mano de obra directa.

A cada una de estas variables se les ha asignado un peso diferenciado para el cálculo del bono de producción, en función de la importancia ó la interdependencia entre una variable y otra.

La variable de costos que es el propósito mismo del modelo de gestión tiene un peso del 80% y resume los efectos de las mejoras en productividad y competitividad.

La variable de calidad, como se ha mencionado avaliza el cumplimiento de normas que garantizan la funcionalidad y duración de las obras y se le ha asignado un peso del 10%.

Finalmente, la variable de recepción de materiales es el complemento a las variables de calidad en tanto y en cuanto si no hay un adecuado control por parte del residente de obra al recibir un material, este puede conspirar contra los costos y contra la calidad.

Consideraciones del modelo.-

En términos generales un modelo de salarios variables debe cumplir algunas premisas que hagan del mismo un instrumento de productividad, que por una parte permita reducir los costos y por otra permita un mejor ingreso al trabajador, de tal forma que sea un estímulo a la mejora continúa.

La reducción de costos que proviene de la productividad apuntala la estrategia de las compañías haciéndolas más rentables ó reduciendo sus precios para ganar nuevos espacios en el mercado, bajo este contexto el modelo de salarios debe contemplar:

1° El modelo debe estar diseñado de tal manera que los objetivos que se fijen en términos de magnitudes de las variables sean alcanzables.

Por ejemplo si una de las variables a calificar fuera la productividad de la mano de obra medida a través de los volúmenes por hora hombre, el valor del volumen de la hora hombre debe ser perfectamente alcanzable por el obrero promedio.

Cuando esto no ocurre, es decir cuando se fijan parámetros inalcanzables para el promedio de los trabajadores simplemente, el modelo se convierte en una herramienta inútil que desmotiva y anula la posibilidad de rectificación.

2° Los bonos de producción tienen que estar en función del esfuerzo del trabajador para cumplir sus objetivos, es decir a un esfuerzo pequeño un bono pequeño a un esfuerzo grande un bono grande a un aporte espectacular un bono espectacular.

En este sentido el diseño de las curvas de bonificación juegan un papel fundamental; la Matemática proporciona herramientas con las que se pueden desarrollar modelos para cada necesidad.

3° El modelo de salarios variables debe fomentar el trabajo en equipo.

4° El modelo de salarios variables tiene que apuntalar la estrategia de la compañía y mejorar la productividad y la eficiencia.

5°) Al trabajador, se le debe pagar un porcentaje de sueldo fijo y un porcentaje variable.

Módulo de mano de obra indirecta.-

En este módulo se evalúan las variables de costo, calidad y recepción de materiales, y se considera que el 90% del salario es fijo y el 10% es variable.

Costos.-

Los costos de construcción están conformados por los costos unitarios de cada rubro, el costo base de comparación es un estándar que en el argot de los constructores se denomina precio unitario y se llama precio unitario porque es lo que el constructor está dispuesto a pagar por la unidad de rubro, existen varios organismos que emiten precios referenciales, en Quito y Guayaquil, las cámaras de la construcción emiten sus respectivos precios referenciales y algunas organizaciones gremiales como la Asociación de Maestros de la Construcción en Quito, pero, cada constructor puede hacer su propio estándar, los componentes de los costos están basados en los principios básicos de la Contabilidad de Costos, la recomendación es que el constructor desarrolle su costo estándar en base a su conocimiento y experiencia.

Para fines de este trabajo se utilizan los costos de la Cámara de la Construcción de Quito.

Para el caso de naves para animales los costos de construcción están asociados básicamente a los costos de la obra civil, es decir costos de albañilería, costos de conformación de caminos vecinales y construcción de viviendas para administradores de granja y oficinas.

Estos grandes grupos de costos a su vez contienen los costos por cada rubro así por ejemplo los costos de albañilería contienen los costos del m^2 de mampostería, el m^2 de adoquinado, el m^3 mortero, etc.

El cuadro N° 12 muestra tres costos que se tomaron del Manual de Precios Unitarios Referenciales de la Cámara de la Construcción de Quito (Comunes de Construcción)

Cuadro N° 12

Precios unitarios referenciales

COD.	RUBRO	UND.	C. DIRECTO	MATERIAL	M. OBRA	EQUIPO
570	Cerámica (GRAIMAN) pared 20x20, cemento blanco, litopon, mortero 1:3 e=1cm	m2	10,84	8,30	2,42	0,12
475	Mampostería ladrillo mambron con mortero 1:6, e=2.5cm	m2	8,30	5,63	2,45	0,22
350	Hormigón en cadenas 0.30x0.30.f'c=210 kg/cm2 Equipo: concretera 1 saco, vibrador. Encofrado con tablero contrachapado	m3	94,28	69,31	20,83	4,14

El componente de costo dentro de la definición del modelo de salarios variables para la mano de obra indirecta es el más importante y representa un 80% de la bonificación y está compuesto por los costos de cada rubro.

Con la base de datos de costos estándar de todos los rubro se forma una matriz, donde cada costo fluctúa entre un costo estándar, un límite inferior de costo y un límite superior de costo, este rango de costos está dado por los gráficos de control de costos cuya ecuación ya se analizó y es la siguiente $\bar{X} \pm 3\sigma$, a esta base de datos se asocia una función exponencial de la forma $Y = a e^{(bX)}$, donde a y b son parámetros, X es la variable de costos y e es una constante; esta ecuación proporciona los porcentajes de bono que se deben pagar en correlación con los resultados obtenidos.

Para obtener a y b se despeja la ecuación, una vez obtenidos los parámetros se construye la ecuación y se calculan los porcentajes de bonificación, se toman las distintas series de costos, y se las correlaciona con los porcentajes de bonificación y se construye una matriz de costos y porcentajes de bonificación.

Finalmente se estudia la correlación existente entre las series, si el coeficiente de correlación es mayor ó igual al 85%, decimos que la ecuación es correcta y aceptamos los parámetros calculados, caso contrario buscamos otra ecuación que cumpla este requisito.

Para una mejor comprensión del cálculo y el uso de la matriz de bonificaciones se presenta un ejemplo simplificado utilizando los costos del cuadro N° 12

$$\boxed{\begin{array}{l} Y = ae^{(bX)} \\ Y = 0{,}0000008e^{-0{,}2905X} \end{array}}$$

Esta ecuación se aplica a todos los costos y se calcula la correlación por cada uno de ellos.

Como se presenta en el cuadro N° 13 los porcentajes de bonificación están correlacionados con los costos en un porcentaje del 94%, dando una validez absoluta al modelo.

Si se grafica la ecuación con cualquiera de los costos vamos obtener una curva exponencial la misma que cumple con la función de premiar al mejor resultado.

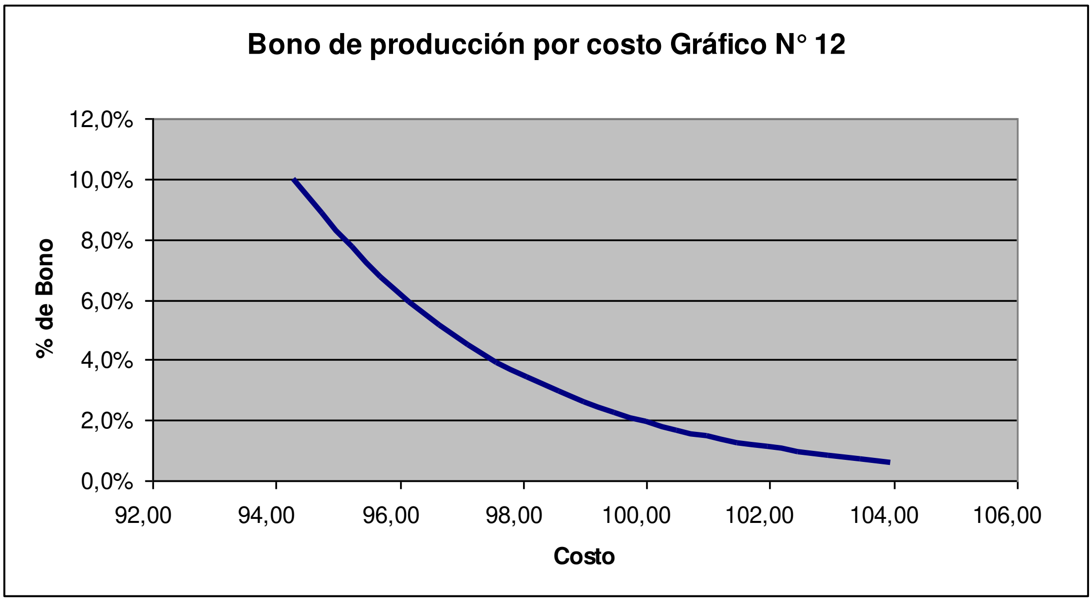
Como se puede ver la ecuación tiene un exponente negativo, lo que indica que es una función inversa, es decir que mientras la una variable sube la otra baja, esto es lógico ya que se debe premiar con una mejor bonificación a los costos más bajos.

Un buen ejemplo es el costo del rubro 475 (mampostería de ladrillo según el cuadro N° 13); para un costo de US 8,30 la bonificación es del 10 %, en tanto que para un costo de 9,15 el bono es de apenas 0,6 %.

Cuadro N° 13
Tabla de bonificación por costo de producción

Rubro	Costo/570	Costo/475	Costo/350	%Bono
Límite inferior	10,84	8,30	94,28	10,0%
	10,89	8,34	94,75	8,9%
	10,95	8,38	95,22	7,8%
	11,00	8,42	95,69	6,8%
	11,06	8,47	96,17	5,9%
	11,11	8,51	96,64	5,1%
	11,17	8,55	97,11	4,5%
	11,22	8,59	97,58	3,9%
	11,27	8,63	98,05	3,4%
	11,33	8,67	98,57	2,9%
	11,38	8,72	98,99	2,6%
	11,44	8,76	99,49	2,2%
	11,50	8,80	99,98	1,9%
	11,55	8,85	100,48	1,7%
	11,61	8,89	100,97	1,5%
	11,67	8,93	101,47	1,3%
	11,72	8,98	101,96	1,1%
	11,78	9,02	102,46	0,9%
	11,84	9,06	102,95	0,8%
	11,89	9,11	103,45	0,7%
Límite superior	11,95	9,15	103,94	0,6%
Correlación	-94,0%	-94,0%	-94,1%	

Otra característica de la ecuación es que la bonificación marginal es mayor para los menores costos así por ejemplo cuando el costo baja en el rubro 350 de US 103,94 a 103,45 el bono marginal es de US 0,01%; mientras que cuando baja de US 94,75 a 94,28 la bonificación marginal es de US 1,1% .



Esto tiene su explicación en los niveles de esfuerzo que requiere cada punto adicional es mucho más fácil mejorar cuando las cosas están mal, cuando se tiene un sistema altamente eficiente, cada punto adicional de mejora cuesta mucho más esfuerzo y en ese sentido tiene que ser mejor remunerado.

En la práctica el número de costos estándar será muy alto posiblemente supere los 100 rubros, por lo que la implementación de un sistema integrado de mejora de la productividad usando las herramientas definidas en este modelo de gestión, necesariamente debe estar atado a una solución informática.

Recepción de materiales.-

Esta segunda variable tiene un peso del 10 % como ponderador del bono total, la importancia de controlar este proceso es que dependiendo de la calidad de los materiales, será la calidad de la construcción y el costo de la misma.

Por lo regular el aprovisionamiento de materiales es un proceso en el que participan al menos dos actores, en primer término está el comprador que es un cargo administrativo, este se encarga de la negociación fijar términos de calidad, etc. En la obra el residente es quien se encarga de la recepción desafortunadamente en la construcción no se pueden hacer análisis de laboratorio al instante de recibir el material por lo que la experiencia y el buen criterio de quien recibe el material es muy importante, aunque después se refrende ese buen criterio con análisis de laboratorio.

Los procedimientos matemáticos para definir la matriz de bonificación son similares en todos los casos, solamente que cada variable tiene su propia tendencia y en ese sentido hay que buscar la ecuación que cumpla con los requerimientos de la variable.

En este tema de recepción de materiales se recurre como ejemplo a la recepción de bloque de carga.

El bloque de carga debe tener una resistencia media de 35 Kgs/cm^2 y puede variar hasta 30 hacia abajo y hasta 40 hacia arriba.

El procedimiento para medir la resistencia es :

Por cada camión que llega se toman tres muestras al azar y se envían al laboratorio, el laboratorio devuelve los resultados en el mejor de los casos al siguiente día, si por alguna razón la resistencia es menor al mínimo, se corren riesgos y lo mejor es devolver el material , incurriendo además en gastos adicionales como estiba y flete para la devolución del bloque.; los residentes de obra experimentados hacen pruebas de rotura rudimentarias antes de recibir el bloque en todo caso lo que se quiere expresar es que si no hay una buena supervisión de los materiales al momento de la recepción se pueden tener sorpresas ó gastos innecesarios .

Retomando el cálculo de la matriz de bonificaciones se tiene que la ecuación es una cuadrática directamente proporcional, esto es lógico porque a mayor resistencia del bloque tiene que haber un mayor reconocimiento.

$$Y = aX^2 + bX + c$$

$$Y = 0{,}0032X^2 - 0{,}1946X + 2{,}9339$$

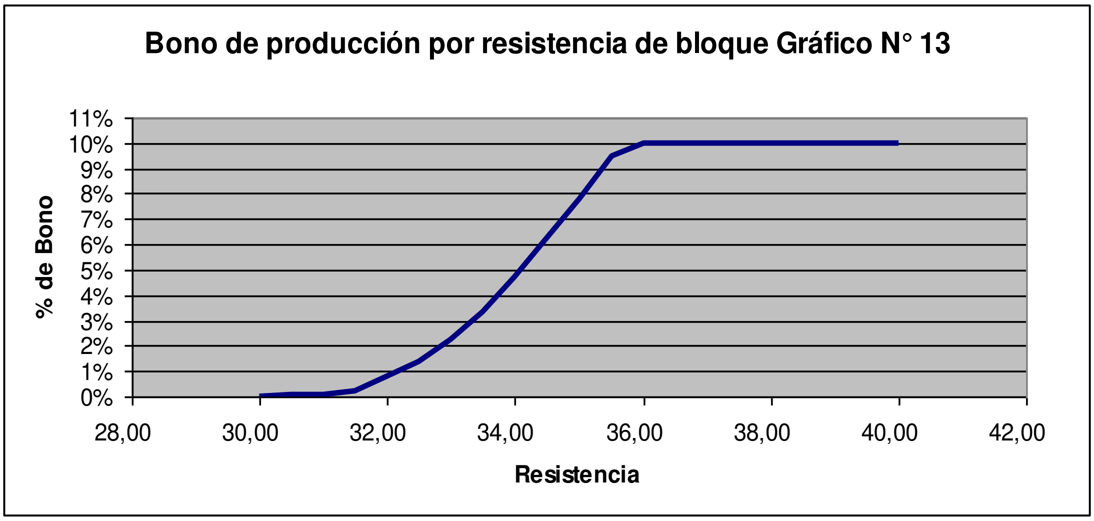
Calculada la correlación de las variables esta es de 93,69 %, cumpliendo con la condición de relación entre variables.

Empero es necesaria la siguiente aclaración, el bloque es un material que se compra a un proveedor por tanto lo que nos interesa es que este material cumpla al menos con el mínimo de resistencia es decir 30Kgs/cm^2, pero si sobrepasa el límite superior de 40Kgs./ cm^2, no hay ningún problema ya que el exceso de gastos está donde el proveedor, la empresa paga por unidad comprada, es verdad que de por medio está la negociación en función de la resistencia pero si se negocia un bloque de entre 35 Kgs.$/cm^2$ y llega un bloque de 45, se paga lo convenido y nada más.

Es por esta razón que la matriz de bonificaciones como se muestra en el cuadro N° 14, paga una bonificación del 10 % cuando el bloque alcanza la resistencia media y luego paga lo mismo independientemente del nivel de resistencia.

Cuadro N° 14
Tabla de bonificación por resistencia de bloque

	Resistencia en Bloque	
Resistencia estándar	**35**	**Bono**
Límite inferior	30,00	0%
	30,50	0,05%
	31,00	0,10%
	31,50	0,20%
	32,00	0,76%
	32,50	1,38%
	33,00	2,24%
	33,50	3,34%
	34,00	4,69%
	34,50	6,21%
Estándar	35,00	7,84%
	35,50	9,47%
	36,00	10,00%
	36,50	10,00%
	37,00	10,00%
	37,50	10,00%
	38,00	10,00%
	38,50	10,00%
	39,00	10,00%
	39,50	10,00%
Límite superior	40,00	10,00%
Correlación	93,69%	



Sin embargo no es lo usual que el bloque llegue con más resistencia, es más bien usual que el bloque en algunos casos no tenga el nivel de resistencia adecuado, por lo que los residentes de obra al hacer su prueba rudimentaria, si dudan del nivel de resistencia regresan el camión y no reciben.

Calidad.-

Para evaluar la calidad de la construcción se escogió la resistencia del hormigón en cadenas con una resistencia de 210Kgs./cm^2

En este punto y como quedó señalado antes la norma es cumple ó no cumple, no existe un rango de variación con límite inferior y límite superior por lo que la definición del bono de producción se hace con un número binario asignando un uno si cumple la norma o un cero si no la cumple.

El ponderador de la calidad es del 10 % por lo que se aplicará uno ó cero según sea el caso .

Una vez que se han definido las matrices de bonificación y que la cancha está trazada se continua con el ejemplo simplificado utilizando la información del cuadro N° 12.

Si se supone que los costos reales obtenidos en una semana de trabajo son los que se muestran en el cuadro N° 15

Cuadro N° 15
Costos "observados" en la semana

COD.	RUBRO	UND.	C.	MATERIAL	M. OBRA	EQUIPO
570	Cerámica (GRAIMAN) pared 20x20, cemento blanco, litopon, mortero 1:3 e=1cm	m2	11,16	8,62	2,42	0,12
475	Mampostería ladrillo mambron con mortero 1:6, e=2.5cm	m2	8,30	5,63	2,45	0,22
350	Hormigón en cadenas 0.30x0.30.f'c=210 kg/cm2 Equipo: concretera 1 saco, vibrador. Encofrado con tablero contrachapado	m3	94,28	69,31	20,83	4,14

La forma de liquidar el pago de bono de producción es la siguiente:

1° Cálculo de bono por costo.-

Se revisan los costos reales observados en la semana y se comparan vsus. la matriz de bonificaciones si el costo está dentro del rango que bonifica, ubicamos la fila donde está el costo y se toma el porcentaje asignado a ese costo, así por ejemplo para un costo de $ 11,16 del rubro 570 , el porcentaje de bonificación por costo es de 4,5%, de igual forma se procede con los códigos 475 y 350 (cuadro N° 13), una vez obtenidos los porcentajes de bonificación por cada costo se ponderan los porcentajes de bonificación por costo tomando como ponderador al porcentaje de tiempo dedicado a cada rubro en este caso 4,5%X30%+10%X25%+10%*45% = 8,4%.

Cuadro N° 16

Cálculo bono de producción residente de obra

	Recepción Mat	**Costo de producción**			**Calidad**
Códigos	**Resistencia en bloque**	**570**	**475**	**350**	**350**
Recepción de bloque	34				
Bolúmen de obra		160	200	40	
Costo unitario		11,16	8,30	94,28	
% de Bono	4,69%	4,50%	10,00%	10,00%	
% de Tiempo por rubro		30,0%	25,0%	45,0%	
Resistencia de hormigón 210					1,00
% de Bono por concepto	4,69%	8,4%			10,0%
% de Composición	10,00%	80,00%			10%
Bono ponderado	0,47%	6,68%			1,0%
% bono total	8,15%				
Sueldo Residente de obra	346,42				
Bono de la semana	28,23				

2° Cálculo de bono por recepción de materiales.-

Utilizando la matriz de bonificación de resistencia de materiales (cuadro N° 14) se observa el mismo procedimiento, con la única diferencia que como se tiene únicamente un rubro el ponderador es uno y por tanto el bono ponderado es el mismo 4,69%.

3° Cálculo de bono de resistencia .-

El bono por resistencia, se califica como un parámetro de cumplimiento ó incumplimiento a través de una variable binaria uno si cumple con la norma y cero si no cumple; si cumple se multiplica el máximo porcentaje aprobado como bono de producción en el caso que se analiza 10% por el porcentaje de ponderación de la variable 10%, con lo que se llega a un bono por resistencia de materiales del 1%.

Una vez se tienen los tres porcentajes de bonos de producción por los diferentes conceptos se ponderan estos resultados usando como ponderadores a los porcentajes de composición del bono final en este caso 80% costo, 10% resistencia de materiales y 10% resistencia de hormigones, el resultado de esta ponderación es del 8,15%.
Este porcentaje es el que finalmente permite calcular el bono de producción sobre el sueldo básico del trabajador.

Para el ejemplo presente se usó el sueldo semanal de un residente de obra de US 346,24 al que aplicándole el porcentaje da una bonificación de US 28,23.
En el cuadro N° 16 se presentan los cálculos en detalle.

Módulo de mano de obra directa.-

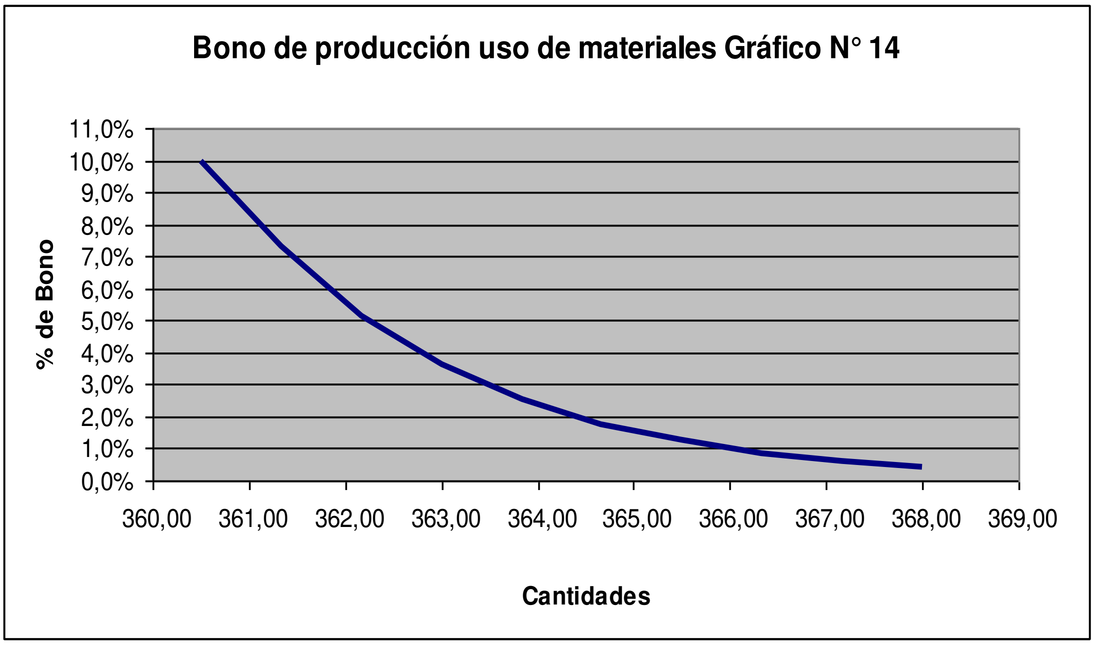
Dadas las características de la mano de obra, que ya se han comentado, el mejor aporte que esta puede hacer a la productividad, es reducir los desperdicios, por esta razón se ha considerado que el bono de producción para el trabajador operativo debe ser medido en función de los estándares de consumo de materiales, mismos que son ampliamente conocidos en la industria aunque cada profesional puede construir sus estándares en función de su propia realidad.

La forma de construir la matriz de bonificaciones es la misma que quedó explicada anteriormente, es decir buscar la ecuación y medir la correlación.
Volviendo al ejemplo de los tres rubros analizados en la mano de obra indirecta.

Cuadro N° 17
Tabla de bonificación por uso de materiales

Rubro	Cerámica Graima	Ladrillo Mambrón	Cemento	% de Bono
Límite inferior	1,00	31,35	360,50	10,0%
	1,01	31,75	361,33	7,3%
	1,02	32,16	362,17	5,1%
	1,02	32,56	363,00	3,6%
	1,03	32,96	363,83	2,5%
	1,04	33,37	364,67	1,8%
	1,05	33,77	365,50	1,2%
	1,05	34,17	366,33	0,9%
	1,06	34,58	367,17	0,6%
Límite superior	1,07	34,98	368,00	0,4%
Correlación	-92,6%	-92,6%	-92,6%	

El cuadro N° 17 muestra el desarrollo de la ecuación y sus respectivas correlaciones y el gráfico N° 14 representa la curva de bonificaciones.



Los rangos de uso de materiales del cuadro N° 17 se sustentan en los estándares de la Cámara de la Construcción de Quito.

Se supone ahora que los consumos reales de una semana de trabajo son los que aparecen en el cuadro N° 18 que son congruentes con el cuadro de costos (cuadro N° 15), ya que son parte del mismo ejercicio.

Cuadro N° 18
Costeo con uso "real "de materiales

		Precio	Cantidad	Total
570	Costo de Materiales Cerámica (GRAIMAN) pared 20x20, cemento blanco, litopon, mortero 1:3 e=1cm			
	Cemento	0,14	2,13	0,30
	Cerámica de pared	8,00	1,04	8,32
	Agua	0,66	0,01	0,00
	Total			8,62
475	Mampostería ladrillo mambron con mortero 1:6, e=2.5cm			
	Ladrillo común 0,08X0,20X0,40	0,14	32,99	4,62
	Auxiliar mortero 1:6	50,37	0,02	1,01
	Total			5,63
350	Hormigón en cadenas 0.30x0.30.f'c=210 kg/cm2 Equipo: concretera 1 saco, vibrador. Encofrado con tablero contrachapado			
	Arena	8,00	0,65	5,20
	Agua	0,66	0,22	0,15
	Ripio	18,00	0,95	17,10
	Cemento	0,13	360,50	46,87
	Total			69,31

El rubro 570 cerámica de pared tiene un rango de uso de material que se mueve entre 1 y 1,07, es decir para hacer un m^2 de cerámica de pared se necesita mínimo 1 m^2 de cerámica y máximo 1,07 m^2 de cerámica, es decir un 7% de desperdicio.

El uso real de la semana ha sido de 1,04 m^2, a este consumo, le corresponde según la matriz de bonificaciones el 1,8% de bono de producción.

El rubro 475 mampostería de ladrillo tiene un uso en la semana de 32,99 y le corresponde un bono de 2,5 % y así sucesivamente se asignarán los bonos por el número de rubros que existan.

Cuadro N° 19
Cálculo de bono de producción
Obreros

Material y código de rubro	**Cerámica Graima 570**	**Ladrillo Mambrón 475**	**Cemento 350**
Bolúmen de obra	160	200	40
Cantidad de material usado	166	6.598	14.420
Cantidad usada por unitario	1,04	32,99	360,50
% de Bono	1,8%	2,5%	10,0%
% de tiempo por rubro	30,0%	25,0%	45,0%
Bono ponderado	0,5%	0,6%	4,5%
Bono total	5,7%		
Costo de mano de obra	387,20	490,00	833,20
Costo total de mano de obra	1.710,40		
Bono de la semana	96,89		

Una vez asignados los porcentajes de bono, se ponderan en función del tiempo invertido en cada uno de ellos, para el caso que se analiza el promedio ponderado de bono es del 5,7%, este porcentaje se lo multiplica por el total del costo de mano obra directa y se obtiene el bono de la semana ó valor a pagarse por concepto de bono, como se muestra en el cuadro N° 19.

Hasta ahora todo el modelo de gestión explicado tiene como propósito mejorar la productividad, pero que sucede con la competitividad que es el otro tema importante de este trabajo.

La competitividad viene dada por producir a menores costos, pero este modelo por un lado bajó los costos por usar menos materiales, pero por otro lado vía bonos de producción ha aumentado el costo de la mano de obra total.

El cuadro N° 20 resume el efecto global de la aplicación del modelo.

Cuadro N° 20
Ahorros conseguidos con el modelo de gestión

	Cerámica Graima 570	Ladrillo Mambrón 475	Cemento 350	Totales
Costo unitario sin control ni bono	11,96	9,16	103,95	
Volúmenes de obra	160,00	200,00	40,00	
Costo total sin control ni bono de	1.913,78	1.832,15	4.158,15	7.904,07
Costo unitario "real" de la seman	11,16	8,30	94,28	
Costo total con "CEP"	1.786,05	1.659,20	3.771,23	7.216,49
(+) Bono de residente de obra				28,23
(+) Bono de obreros				96,89
Costo total con "CEP" más bonos de producción				7.341,61
Ahorro para la compañía				562,47
% de Ahorro				7,12%

Cuando un proceso está fuera de control por lo general el uso de materiales es muy alto sobrepasa con facilidad los límites de control establecidos en las matrices de bonificación expuestas en este trabajo, empero para este ejercicio se ha supuesto que los costos en termino medio son un centavo más que el límite superior, con el objeto de que no se afecten por la bonificación (el costo límite superior del m^2 de cerámica, rubro 570 es de 11,95 según el cuadro N° 13 (matriz de bonificación por costos) para fines de comparación se usó 11,96.

Como se puede ver en el cuadro N° 20 el costo total de los tres rubros analizados en este capítulo sin ningún tipo de control es de US 7.904,07; mientras que el costo gestionado con "CEP", es de 7.341,61 incluido el pago de bonificaciones, con un ahorro de $62,47 equivalente al 7,12%.

CAPITULO IV

COSTO DEL CAPITAL Y MANEJO DE INVENTARIOS.-

Costo y manejo de inventarios.-

En la industria de la construcción y especialmente en la edificación de naves para la crianza de animales el manejo del inventario está íntimamente relacionado con el costo del dinero.

Mantener inventarios altos tiene un costo financiero importante y se corren riesgos de daños ó degradación de la calidad de los ítems que conforman el inventario, por tal razón, el manejo de las compras, la custodia de las bodegas y una adecuada administración del inventario merece la atención del constructor.

Costo del capital.-

La empresa tiene dos fuentes para financiar sus operaciones, el capital propio, es decir el aporte de los accionistas y el capital ajeno ó el endeudamiento que la compañía puede tener con bancos y tenedores de títulos y obligaciones.

Tanto el capital propio, como el capital ajeno tienen un costo, el costo del capital propio son los rendimientos que los accionistas esperan por sus aportaciones de capital y el costo del capital ajeno son los intereses que se paga por el uso del mismo.

El capital propio tiene un costo superior al capital ajeno ya que el costo del capital está en función del riesgo , quienes simplemente esperan con comodidad el cobro de intereses al final de un período tendrán un rendimiento menor frente a quien arriesga en una operación industrial .

El costo del dinero, se lo mide a través del tiempo, tanto el capital propio como el capital ajeno espera una recompensa al final de un período, un accionista espera un tasa de de retorno de su inversión en un tiempo determinado un prestamista espera sus intereses también al finalizar el período pactado.

Entendido de esta manera el costo del dinero es de esperarse que el manejo del inventario en la construcción de granjas porcinas es un elemento importante para conseguir productividad y competitividad.

Modelo para el manejo de los inventarios.-

Los ítems que conforman el inventario de una construcción como la que aquí se analiza está básicamente conformado por:
Piedra, arena, bloque, cemento y hierro.

Existen otros componentes de la edificación que no son parte del inventario porque se contratan por obra cierta, como es el caso de la estructura de los galpones y los techos.

Es decir en el caso de la estructura y los techos es un sistema just in time.
El manejo de los inventarios de piedra y arena tampoco reviste mayor problema ya que se va comprando como se va necesitando, además que el lead time tiende a cero, entonces donde se debe centrar la atención para el desarrollo del modelo de inventarios es en bloque, cemento, hierro y otros de menor importancia como alambre, clavos, etc.

Las características que van a definir el sistema de inventarios son:

Demanda dependiente y el costo de los inventarios.

Demanda dependiente.-

La demanda para el uso de materiales en la obra es dependiente y determinística, es dependiente porque depende de los volúmenes de obra a realizarse, mismos que se pueden calcular de los planos arquitectónicos y de los planos estructurales y es determinística porque se sabe con bastante precisión las cantidades de materiales a usarse en un período determinado.

Costo del inventario.-

El costo del inventario está determinado por el costo de financiamiento de los materiales que se encuentran en bodega.

Independientemente de la necesidad de un inventario mínimo para garantizar la continuidad del trabajo, el inventario agrega a la operación el costo de financiar dichos materiales.

Modelo de optimización.-

Utilizando un modelo de Programación Matemática, se determina el óptimo de compras y de inventario que se tiene que mantener para aumentar la competitividad vía reducción del costo total de los materiales.

El modelo debe garantizar el abastecimiento de materiales en los j períodos de construcción.

Se define como i al producto y como t al período, en el período t, los requerimientos de materiales R(i,t) pueden ser satisfechos con las compras X(i,t) y ó con el inventario I(i,t-1) de períodos anteriores, los requerimientos R(i,t) , son conocidos porque están en el presupuesto de obra derivado de los cálculos que se hacen a partir de los planos arquitectónicos y estructurales .

El inventario al final del período debe mantener como mínimo dos días de consumo del siguiente período.

El período comprende dos semanas de cinco días de trabajo y quince días calendario .

Las condiciones de compra son:

Existe un descuento por compras en gran volumen, dependiendo del material (i), por los inventarios finales se tiene un costo financiero CInv(i) , independientemente del volumen del inventario.

El modelo tal cual se lo describe se resuelve mediante el siguiente sistema:

$$Z\min = \sum_{\substack{i=1 \\ t=1}}^{\substack{n \\ j}} C_{sd} X_{sd\,(i,t)} + \sum_{\substack{i=1 \\ t=1}}^{\substack{n \\ j}} C_{cd} X_{cd\,(i,t)} + \sum_{\substack{i=1 \\ t=1}}^{\substack{n \\ j}} CI_{nv} S_{(i,t)}$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$S_{(i)};Q_0 = 0$$

$$X_{sd(i,t)} + X_{cd(i,t)} + S_{(i,t-1)} \geq R_{(i,t)}$$

$$S_{(i,t)} \geq InvMin_{(i,t)}$$

$$S_{(i,t)} = S_{(i,t-1)} + X_{sd(i,t)} + X_{cd(i,t)} - R_{(i,t)}$$

$$X_{sd(i,t)} \leq H_{(i)} Y_{sd(i,t)}$$

$$X_{cd(i,t)\geq} H_{(i)} (1 - Y_{sd(i,t)})$$

$$X_{cd(i,t)} \leq 10000000\ (1 - Y_{sd(i,t)})$$

$$S_{(i)};Q_9 = 0$$

$$S_{(i,t)} \leq InvMax_{(i)}$$

Donde:

Csd costo sin descuento, Ccd costo con descuento, Xsd Compras sin descuento, Xcd Compras con descuento, CInv costo del inventario, S inventario de fin de período, R consumos del período, InvMin inventario mínimo, H cantidad base de compra para obtener un descuento.

En el anexo N° 6 se presenta la codificación del modelo en el programa GAMS.

Para efectos de comprobación, se ingresaron datos de nueve períodos y se corrió el modelo obteniendo un costo mínimo de US 245.333,60.

Tablero de Control y Bench Marking.-

En línea con los objetivos de este trabajo, de elevar la competitividad, vía mejoramiento de la productividad y una vez que se han analizado en detalle las variables que permitirán este cometido se piensa que el tablero de control y el bench marking deben hacerse sobre las mismas variables es decir sobre variables de costos y calidad; sin embargo como un componente importante del tablero de control se adiciona una medida de satisfacción laboral.

En el capítulo I, se definió un sistema de costos y de estadísticas de donde se podría extrae la información a diferentes niveles, por ejemplo se puede tener un detalle del costo de mampostería de una semana en un galpón determinado ó se podría tener la información del costo de mampostería promedio de la semana ó se podría obtener los costos promedio de todos los rubros de la construcción en un mes.

El sistema de información que se plantea debería tener dos niveles , un nivel operacional , el mismo que serviría para tomar decisiones operativas sobre la marcha , como por ejemplo corregir los niveles de desperdicio en un rubro determinado , esta información debe ser amplia y a detalle y debe ser gestionada por el residente de obra, el segundo nivel de información estaría orientado a la toma de decisiones estratégicas, esta información debe ser selectiva , resumida y comparativa con otros constructores ó con la información de gremios , cámaras de construcción ó empresas internacionales .

El bench marking y el tablero de control manejan el segundo nivel de información es decir la información de tipo estratégico; se ha dicho antes que el modelo de gestión desarrollado en este estudio considera como constantes la tecnología, los precios y los niveles de rendimiento, también se mencionó que vía mejora continua se pueden mover los estándares de las variables, sin embargo hasta aquí no se ha topado la posibilidad de mejorar la productividad vía incorporación de tecnología.

Una mejora de la productividad vía cambio tecnológico es por lo general una decisión estratégica que involucra una inversión considerable pero trae como resultado una mejora importante y sustentable en el largo plazo.

Por lo general las variables que se miden en un tablero de control son evaluadas en períodos mensuales y son los grandes promedios del mes los que se comparan con otros actores de la industria.

El diseño propuesto para el tablero de control y el bench marking de costos sería como el que se muestra en el cuadro N° 21.

Cuadro N° 21
Cuadro de Mando Integral
Mes :
Costos

Rubro	Costo Real	Costo estándar	Costo Cámara de la Construcción de Quito	Costo más bajo Gremios
Hormigón en cadenas 30X30 f´c = 210 Kg/cm2	174,04	171,20	172,10	162,18
Mampostería de bloque e = 20cm con mortero 1:4 e = 3 cm	9,43	9,40	9,86	9,36
Enlucido vertical mortero 1:4 e= 1,5	4,64	4,60	5,07	4,50

Fuente :
Precios referenciales Cámara de la Construcción de Quito mes de Enero/2.008
Precios Referenciales Asociación de Maestros Albañiles Independientes de Pichincha

Este tipo de comparación permiten darse cuenta que tan bien ó que tan mal está la empresa frente a otros competidores, empero esto es apenas el comienzo para iniciar un proceso de mejora a través de aprender de los líderes de la industria, investigar sus mejores prácticas, el uso de tecnologías más modernas, etc.

Es saludable mantener un esquema de bench marking mensual a través de un tablero de control, empero si se detectan falencias en las operaciones y estas obedecen a causas estructurales, la decisión de llevar adelante un cambio es una decisión estratégica, con un costo importante en investigación y posiblemente en inversión de activos fijos.

En lo que hace relación a variables de calidad, el tablero de control debe medir la resistencia de materiales, y los resultados de las auditorias de entrega recepción.

La resistencia de materiales debe medirse contrastando los promedios reales mensuales de los diferentes rubros frente al estándar, en este sentido no hay mayor cosa que explicar porque como se mencionó antes los estándares de resistencia de materiales se cumple ó no se cumple, esta medición más que buscar parámetros de mejora es una medición que permite tener seguridad sobre el producto final.
En cuanto a las auditorias de entrega recepción, hoy por hoy se limitan a una revisión exhaustiva por parte del profesional encargado donde inspecciona los detalles técnicos de la funcionalidad de la granja, por ejemplo, se inspecciona si el número de comederos es correcto, si las criadoras están instaladas a la altura adecuada, si la presión del agua

es suficiente para el último bebedero, etc. Si se encuentran incumplimiento de normas simplemente se ordena la rectificación con el costo adicional que esto representa.

La propuesta es hacer exactamente la misma auditoria pero con una calificación que pueda ser contrastada con un mínimo aceptable y mantener como una variable dentro del tablero de control, para efectos de la calificación de la auditoria podrían tomarse los modelos de BPM, (buenas prácticas de manufactura) donde se califican características de orden cualitativo, ó variables de producción.

CAPITULO V

CASO DE ESTUDIO: APLICACIÓN.-

Descripción.-

El presente capítulo aborda la aplicación práctica de manera simplificada y didáctica del modelo de gestión desarrollado en este estudio.

Para el efecto se cuenta con los costos y toda la información de consumos y precios de materias primas usadas en el rubro de enlucidos que gentilmente proporcionara el Departamento Contable de la Compañía de construcciones T&R y que se adjunta en los anexos N° 4 y 5.

Por el volumen de información que maneja el sistema "CEP", las interrelaciones entre variables y con el objeto de presentar este capítulo de manera clara, se analiza únicamente el rubro de enlucidos.

En el capítulo II, usando los datos de costos unitarios de enlucidos de los meses de Diciembre/08 hasta Abril/09 de la Compañía T&R se definió, la capacidad del proceso, usando esos mismos datos, y los costos del período Abril Agosto/09 se construyen las cartas de control X, se definen modelos de salarios variables y finalmente se hace una simulación de cómo se debieron haber hecho las compras de cemento para que el costo del capital sea mínimo.

Modelo "CEP" para el control de costos.-

En el capítulo II, se demostró la normalidad de los datos y se determinó la capacidad del proceso con límite superior natural de \$5,04 por m^2 de enlucido y \$4,89 de límite inferior natural por m^2 de enlucido, en ese mismo acápite se definieron los límites superior e inferior de especificación mismos que alcanzaron \$ 5,07 y \$4,82 respectivamente (ver gráfico N° 10).

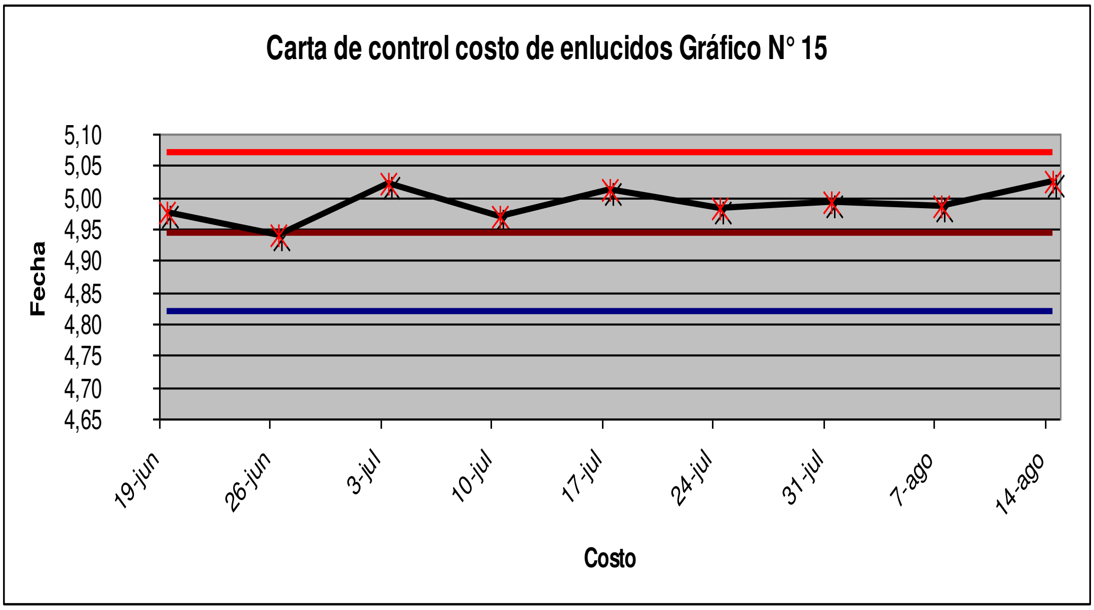
Finalmente se encontró que el ICP es de 1,61.

Una vez determinada la capacidad del proceso y conocidos los límites de especificación, se construye la carta de control del costo del m^2 de enlucido con un costo mínimo aceptable de \$ 4,82, un costo medio de \$ 4,95 y un costo máximo de \$5,07, como se muestra en el cuadro N° 22 y gráfico N° 15; y que corresponde a lo que ya se definió en el estudio de capacidad del proceso.

Para hacer la primera evaluación de los costos del m^2 de enlucidos, se tomaron los últimos datos disponibles (semanas del 19 de Junio al 24 de Agosto) y como se aprecia en el gráfico N° 15 los costos están bajo control.

Cuadro N° 22
Gráfica de control X
Costo unitario de enlucidos

Fecha	Li	Lc	Ls	Observaciones
19-jun-09	4,82	4,95	5,07	4,98
26-jun-09	4,82	4,95	5,07	4,94
03-jul-09	4,82	4,95	5,07	5,02
10-jul-09	4,82	4,95	5,07	4,97
17-jul-09	4,82	4,95	5,07	5,01
24-jul-09	4,82	4,95	5,07	4,98
31-jul-09	4,82	4,95	5,07	4,99
07-ago-09	4,82	4,95	5,07	4,99
14-ago-09	4,82	4,95	5,07	5,03



Llama la atención de todos modos que a partir del 3 de Julio los costos se ubican por sobre la media, con una tendencia a acercarse al límite superior de control.

Una revisión de los componentes del costo permite concluir que los precios de las materias primas no han subido, y que esa tendencia al alza en el costo de enlucidos se debe principalmente a consumos de cemento y arena mayores al estándar definido, sin que se esté llegando a situación de fuera de control.

En los cuadro N° 23 y 24 se muestran las variaciones porcentuales entre los consumos estándar de cemento y arena y los consumos reales .

Cuadro N° 23
Comparativo de consumo de cemento real vsus. estándar

Fecha	Consumo real Kgs	Consumo estándar Kgs	Diferencia
19-jun-09	13,01	12,88	1%
26-jun-09	12,93	12,88	0%
03-jul-09	13,25	12,88	3%
10-jul-09	12,94	12,88	0%
17-jul-09	12,88	12,88	0%
24-jul-09	12,54	12,88	-3%
31-jul-09	12,70	12,88	-1%
07-ago-09	12,55	12,88	-3%
14-ago-09	13,30	12,88	3%

Cuadro N° 24
Comparativo de consumo de arena
real vsus. estándar

Fecha	Consumo real M3	Consumo estándar M3	Diferencia
19-jun-09	0,024	0,026	-6,0%
26-jun-09	0,020	0,026	-21,2%
03-jul-09	0,026	0,026	-0,4%
10-jul-09	0,025	0,026	-4,1%
17-jul-09	0,031	0,026	19,5%
24-jul-09	0,033	0,026	25,2%
31-jul-09	0,031	0,026	19,2%
07-ago-09	0,033	0,026	28,0%
14-ago-09	0,025	0,026	-2,4%

Las variaciones de hasta el 25 % en más de arena y de hasta el 3 % más de cemento explican la tendencia alcista de los costos .

Como se explicó al inicio del estudio algunos rubros de la construcción son medidos en su totalidad, por lo que no amerita la construcción de gráficas de control de dispersión (gráficas S y R) este es el caso de los enlucidos por lo que concluido el análisis de las variaciones en los costos tratamos el tema de la calidad y los salarios variables.

Modelo de salarios variables.-

El modelo de salarios variables que se aplica para el rubro de enlucidos es el mismo definido en el capítulo III, como parte del modelo de gestión propuesto para la construcción de galpones para la crianza de animales.

En términos generales se parte de los resultados de las cartas de control “CEP” ó de las auditorias de calidad, se propone una ecuación que sintetiza la correlación entre las variables y el porcentaje de bono a pagar.

Para el análisis de este rubro se toma el pago del 10% del salario que percibe el trabajador como bono máximo cuando se ha alcanzado el máximo exigido por la carta de control ó por los parámetros de calidad y se bonifica con un mínimo que está en alrededor del 1% del salarios del trabajador cunado se alcanza el mínimo exigido por la carta de control, cuando una variable muestra observaciones de fuera de control el sistema de salarios variables no paga ningún bono.

Los bonos de costo y de calidad están orientado a la mano de obra indirecta, es decir este bono se paga a Residentes de Obra, Gerentes de Proyectos y Director de Construcciones, esta forma de pago se justifica porque son los Gerentes y residentes de obra quienes pueden manejar las variables de costos y calidad, son ellos quienes definen estándares de consumo y de calidad, negocian precios de compra y diseñan procesos.

El bono por uso de materiales está orientado hacia la mano de obra directa, es decir Maestros de Obra, Albañiles, y Obreros, porque son ellos los que en el trabajo manual tienen que poner cuidado para reducir los desperdicios.

Bono a la calidad.-

La calidad en los enlucidos se debería medir por la finura de su terminado sin embargo los enlucidos en galpones para la crianza de animales no requieren de terminados finos sino más bien de un acabado razonable, en este sentido un acabado muy fino sería costoso, por lo que la propuesta es calificar en una escala del 1 al 5, donde 1 representa un acabado inapropiado y el 5 representa el acabado ideal para galpones de crianza de animales.

El bono de calidad debería pagarse cuando la calidad del acabado está entre 4 y 5 que en porcentaje representa haber alcanzado niveles de calidad de entre 80 y 100%, de acuerdo al parámetro establecido, definida así la variable, la ecuación que correlaciona las variables de calidad de enlucido y el porcentaje de bono a pagar es la siguiente :

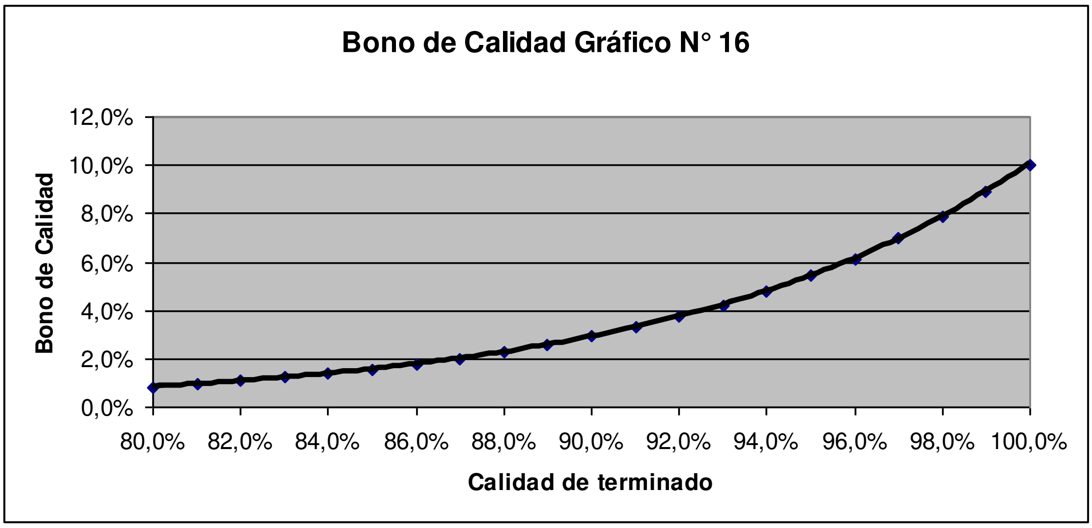
$$Y = 0{,}0007\, e^{12{,}476X}$$

Donde Y es el porcentaje de bono a pagar y X es el porcentaje de calidad.
El cuadro N° 25 muestra la resolución de la ecuación con un 95,1 % de correlación.

Cuadro N° 25 Bono de calidad de enlucidos

% de Calidad d	% de Bono
80,0%	0,8%
81,0%	1,0%
82,0%	1,1%
83,0%	1,2%
84,0%	1,4%
85,0%	1,6%
86,0%	1,8%
87,0%	2,0%
88,0%	2,3%
89,0%	2,6%
90,0%	2,9%
91,0%	3,3%
92,0%	3,7%
93,0%	4,2%
94,0%	4,8%
95,0%	5,4%
96,0%	6,1%
97,0%	7,0%
98,0%	7,9%
99,0%	8,9%
100,0%	10,0%
Correlación	95,1%

El gráfico N° 16 muestra la tendencia de la curva de bonificación, misma que es congruente con el modelo definido en el capítulo III.



Bono al costo de producción.-

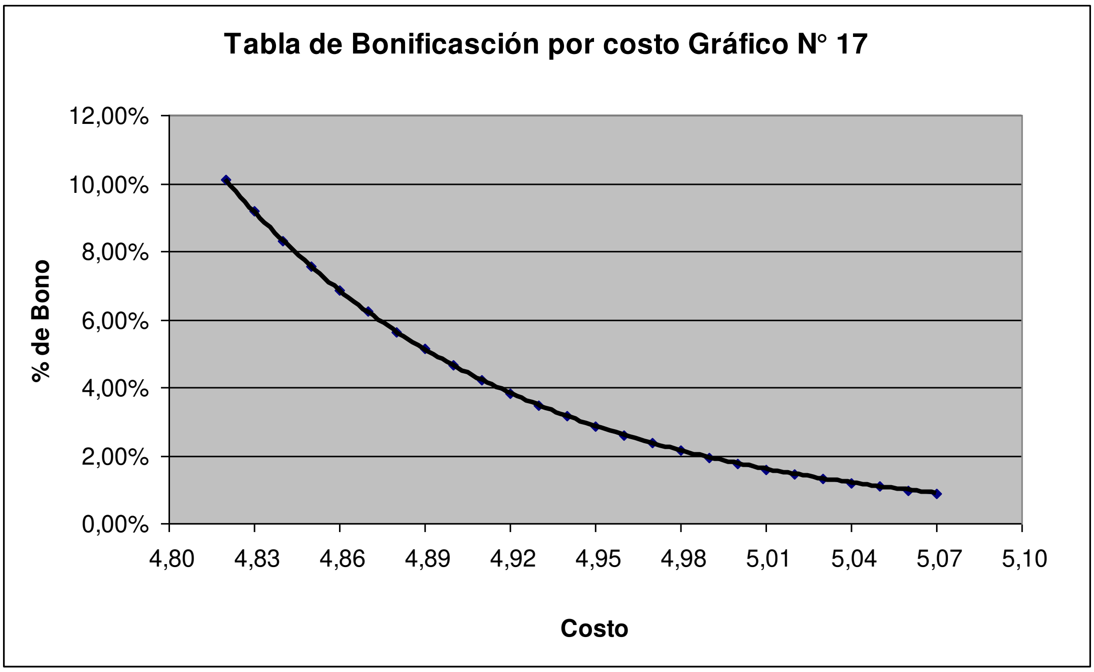
En la carta de control del costo de producción se definió un límite inferior de costo de US 4,82; un límite superior de costo de US 5,07 con una media de US 4,965.

Partiendo de esta información se construyó la tabla de bono al costo de producción, la misma que se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$Y = 0{,}019\, e^{-9{,}696X}$

Con un valor de pago inicial del 10% cuando el costo es el mínimo esperado es decir US 4,82 y termina con un pago equivalente al 0,89 % del sueldo cuando el costo alcanza su máximo aceptado.

Si el costo se eleva por encima del costo máximo no se pagaría ningún valor.



Cuadro N° 26
Tabla de bonificación por costo de producción

Costo	% de Bono
4,82	10,10%
4,83	9,17%
4,84	8,32%
4,85	7,55%
4,86	6,85%
4,87	6,22%
4,88	5,65%
4,89	5,12%
4,90	4,65%
4,91	4,22%
4,92	3,83%
4,93	3,48%
4,94	3,16%
4,95	2,86%
4,96	2,60%
4,97	2,36%
4,98	2,14%
4,99	1,94%
5,00	1,76%
5,01	1,60%
5,02	1,45%
5,03	1,32%
5,04	1,20%
5,05	1,09%
5,06	0,99%
5,07	0,89%
Correlaciór	-95,3%

El gráfico N° 17 y el cuadro N° 26 detallan los valores a pagar por bono de costo.

Bono al uso de materiales.-

Este bono como ya se mencionó antes esta dirigido a los Maestros de Obra, Albañiles y Operarios, lo que se busca con este incentivo a la mano de obra es maximizar el uso de materiales, evitando desperdicios.

Siguiendo el procedimiento definido se tiene:

$$Y = 0{,}17e^{-3{,}3291X}$$

Donde Y es el porcentaje de bono a pagar y X el uso de cemento en Kgs por m^2 de enlucido.

Esta ecuación genera la tabla de bonificación que se muestra en el cuadro N° 27

Cuadro N° 27
Tabla de bonificación por uso de cemento

Kgs. Usados	% de Bono
12,55	10,00%
12,57	8,99%
12,59	8,41%
12,61	7,86%
12,63	7,35%
12,65	6,87%
12,67	6,43%
12,69	6,01%
12,71	5,62%
12,73	5,25%
12,75	4,91%
12,77	4,59%
12,79	4,29%
12,81	4,02%
12,83	3,75%
12,85	3,51%
12,87	3,28%
12,89	3,07%
12,91	2,87%
12,93	2,68%
12,95	2,51%
12,97	2,35%
12,99	2,19%
13,01	2,05%
13,03	1,92%
13,05	1,79%
13,07	1,68%
13,09	1,57%
13,11	1,47%
13,13	1,37%
13,15	1,28%
13,17	1,20%
13,19	1,12%
13,20	1,09%

Una vez que se ha definido el modelo de gestión en sus módulos de "CEP" y de Salarios Variables, se muestra a continuación la liquidación del bono correspondiente a la semana del 14 de Agosto.

Cuadro N° 28
Liquidación Salarios variables

Semana del	14-ago-09		
	Residente de Obra	**Maestro de Obra**	**Albañil**
Salario Nominal	346,42	120,00	90,00
Costo unitario enlucidos	5,03		
Calidad de terminado	93%		
Uso de cemento		13,30	13,30
Cálculo de Bonos			
% Por costo	1,3%		
% Por calidad de terminado	4,2%		
% por uso de materiales		0%	0%
Composición del bono			
% Por costo	70%		
% Por calidad de terminado	30%		
% por uso de materiales		100%	100%
Valores a pagar			
Residente de obra	7,52	-	-

En el cuadro N° 28 se detallan los cálculos, del bono a pagar a la M.O.D. y M.O.I. mismos que contienen los siguientes supuestos:

1°.- Durante la semana se trabajó todo el tiempo en el rubro de enlucidos

2°) el 70 % del bono para la M.O.I. es asignado en función del costo y el 30% en función de la calidad.

3° .- El 100% del bono para la M.O.D. es asignado en función del uso de materiales

4°.- Los sueldos que sirven como base para la aplicación de los porcentajes de bono son los pagados en la semana del 14 de Agosto.

Bono para M.O.I.-

El bono total a pagar al residente de obra es US 7,52, mismo que se descompone de la siguiente manera:

Bono por costo de producción.

Bono por costo = 346,42(0,7)(,013)= 3,16

Bono por acabados =346,42(0,3)(,04,2)= 4,36

Total 7,52.

El bono en la semana analizada es bastante bajo y básicamente obedece al elevado costo de producción que se registró (US 5,03 por m^2, de enlucido).
La tabla de bonificación por costo (cuadro N° 26), determina que a ese nivel de costo corresponde el 1,3 % del sueldo.

Bono M.O.D.-

La M.O.D. es decir Maestros de obra, Albañiles y Obreros no acceden a bonificación semanal, porque los consumos de cemento registrados en la semana superan el máximo permitido por el sistema de compensaciones , en consecuencia la tabla de bonificaciones no contempla pago alguno; el consumo de cemento por m^2 de enlucido fue de 13,3 Kgs mientras que el consumo máximo definido en la carta de control es de 13,2 Kgs.

Costo del capital y manejo de inventarios.-

En el anexo N° 4 se detallan los m^2 de enlucidos realizados por semana, y la cantidad de sacos de cemento utilizados entre el 17 de Abril/09 y 14 de Agosto/09.

Con el objeto de mostrar el funcionamiento del modelo de gestión tomamos las nueve últimas semanas de consumo de cemento y las ingresamos en el modelo de programación matemática desarrollado en el capítulo V y que básicamente está orientado a minimizar el costo total de los inventarios.

Considerando que los consumos son los que efectivamente se dieron en esas fechas, la corrida del modelo mostrará la forma como se debió haber comprado el cemento, respetando las siguientes restricciones:
1°.- El precio normal del saco de cemento es de US 6,63. si se compran 200 sacos de cemento ó más se tiene un precio de 6,50 por saco.
2°.- Los niveles de inventarios mínimos al final de cada período son los que constan en el cuadro N° 29.
3°.- El costo del inventario es de US 0,09 por saco/período.
4°.- La bodega tiene una capacidad máxima de 1.400 sacos.
Con estas restricciones el modelo arroja un plan de compras y de inventarios que se muestra en el cuadro N° 29.

El costo total del sistemas es de US 8.320 y como puede verse en casi todas las semanas el modelo compra 200 sacos de cemento para aprovechar el precio con descuento, aunque mantiene inventarios por encima del requerimiento, sin embargo el mantener inventarios por sobre lo establecido no es motivo de preocupación mientras el costo total del sistema sea mínimo y al final de todos los períodos el inventario sea cero.

Cuadro N° 29
Movimiento del Inventario de Cemento
En períodos quincenales

Fecha Inv. final	**24-abr-09**	**08-may-09**	**22-may-09**	**05-jun-09**	**19-jun-09**	**03-jul-09**	**17-jul-09**	**31-jul-09**	**14-ago-09**
Inv. Inicial	-	93	64	134	35	61	54	200	10
Compras	200	200	200	-	200	200	236		35
Transferido a producción	107	229	130	99	174	207	90	190	45
Inv. final	93	64	134	35	61	54	200	10	0
Inv. mínimo requerido	46	26	20	35	42	18	38	10	0

Costo total del plan

	N° Sacos	**Precio**	**Costo**
Sacos con descuento	1.236	6,50	8.029
Sacos sin descuento	35	6,63	232
Sacos en inventario	651	0,09	59
Costo total del plan de compras			8.320

En resumen en este capítulo se demuestra el funcionamiento del modelo de gestión analizando un solo rubro de la construcción (enlucidos), es importante destacar que el trabajo ha cumplido con los objetivos generales y específicos y que para llevarlo a la práctica se requiere un desarrollo informático como se mencionó oportunamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.-

1°.- Mejora en los Niveles de Productividad.-

Una de las conclusiones de este ensayo es que elevar los niveles de productividad y por esta vía mejorar la posición competitiva de las empresas es una tarea que puede ser gestionada desde diferentes campos de las ciencias, la mejora de productividad es un tema tan grande como apasionante podría decirse que el único límite para mejorar la productividad de cualquier actividad humana es la imaginación del hombre.

Este estudio se ha centrado únicamente en herramientas de tipo administrativo para el sector de la construcción, y se ha encontrado que utilizando herramientas matemáticas y estadísticas de forma articulada se pueden desarrollar modelos de gestión que cumplen el objetivo de mejorar la productividad y la eficiencia en cualquier actividad productiva. Para el caso particular de la construcción de granjas porcinas, el modelo "CEP" combinado con el modelo de salarios variables y monitoreados a través del tablero de control puede tener resultados realmente diferenciadores, la experiencia de implantar otros modelos de mejoramiento de la productividad para otras ramas de actividad con resultados importantes, hace pensar en la validez del modelo.

2°.- Consenso y Apoyo al Modelo.-

La implantación de un modelo como el que se propone debe tener el apoyo de la alta dirección y debe estar consensuado con los diferentes actores.

Como se ha visto el modelo implica mayores reconocimientos económicos a la mano de obra, pero también implica mayor responsabilidad del obrero, del residente de obra del director de proyecto, etc. Además de que el proceso debe estar soportado en un importante programa de capacitación a nivel administrativo y a nivel técnico.

3°.- Mejora Continua.-

El modelo permite tener elementos de juicio basados en evidencias y datos, que ayudan a emprender en un proceso de mejora continua, en este sentido los programas de capacitación mencionados en el acápite anterior cobran vital importancia, la participación de obreros y mandos medios son elementos que van a aportar en mejoras del trabajo cotidiano y en donde no se requiere de decisiones de la alta dirección.

Pero de otro lado el modelo también proporciona la información necesaria a los directivos para la toma de decisiones estratégicas en materia de productividad y eficiencia.

4°.- Utilidad del Modelo.-

Este modelo puede ser utilizado tal como está definido en la construcción de granjas porcinas , pero con ligeras modificaciones puede ser aplicado en la construcción de naves industriales , galpones para la crianza de otras especies animales y con modificaciones un tanto más elaboradas podría ser utilizado en la construcción de planes de vivienda .

RECOMENDACIONES

1°.- Sistema informático

Este modelo puede ser llevado a la práctica, pero requiere de un sistema informático que lo soporte dados los volúmenes de datos que debe manejar, la gran cantidad de cálculos que debe realizar y los resultados que requiere el usuario.

En vista de que la información que requiere el sistema es la misma que se ingresa a los sistemas de contabilidad y de inventarios, el sistema informático debería usar la misma captura de datos para evitar el doble ingreso.

Por lo que la recomendación principal es que previo a la implementación del sistema de gestión se desarrolle el módulo que maneje el "CEP" y un módulo que maneje el sistema de salarios variables, los datos para el tablero de control pueden ser extraídos del mismo "CEP".

Mediante el uso del modelo de gestión se deben poner objetivos en productividad y eficiencia.
El modelo CEP, proporciona la información necesaria para determinar objetivos y plazos de cumplimiento, el modelo de salarios variables motiva a los obreros y jefes al cumplimiento de los mismos y finalmente el cuadro de mando integral direcciona a los ejecutivos de la empresa a conseguir los mejores resultados en el largo plazo.

ANEXOS

Anexo N°1 Carta de Control Costos de Mampostería

Costo Mínimo	Costo Estándar	Costo máximo	Observaciones	Fecha
7,18	7,55	7,932	7,220	1
7,18	7,55	7,932	7,854	2
7,18	7,55	7,932	7,250	3
7,18	7,55	7,932	7,843	4
7,18	7,55	7,932	7,230	5
7,18	7,55	7,932	8,150	6
7,18	7,55	7,932	7,300	7
7,18	7,55	7,932	7,254	8
7,18	7,55	7,932	7,560	9
7,18	7,55	7,932	7,277	10

Anexo N° 2
Resistencias de hormigón
210 kg/cm2 a los 28 días

Probeta #	Edad días	Resistencias (Kg/cm)	Probeta #	Edad días	Resistencias (Kg/cm)
1	28	209,77	54	28	211,28
2	28	211,21	55	28	211,11
3	28	213,04	56	28	210,26
4	28	210,28	57	28	210,97
5	28	214,96	58	28	210,57
6	28	210,82	59	28	210,71
7	28	210,13	60	28	210,82
8	28	210,43	61	28	212,21
9	28	209,55	62	28	211,42
10	28	220,23	63	28	211,29
11	28	209,17	64	28	211,66
12	28	210,00	65	28	210,32
13	28	210,25	66	28	210,67
14	28	211,66	67	28	211,63
15	28	211,43	68	28	212,18
16	28	211,53	69	28	210,65
17	28	211,22	70	28	211,86
18	28	211,01	71	28	211,99
19	28	210,69	72	28	211,77
20	28	211,91	73	28	212,17
21	28	211,62	74	28	212,13
22	28	212,00	75	28	211,82
23	28	211,96	76	28	211,75
24	28	212,10	77	28	211,20
25	28	212,41	78	28	211,92
26	28	212,43	79	28	213,03
27	28	213,12	80	28	213,79
28	28	210,62	81	28	213,80
29	28	211,82	82	28	213,33
30	28	212,08	83	28	213,61
31	28	212,35	84	28	214,62
32	28	213,62	85	28	210,73
33	28	210,17	86	28	211,05
34	28	210,94	87	28	211,34
35	28	212,33	88	28	212,00
36	28	211,38	89	28	210,59
37	28	211,46	90	28	210,68
38	28	210,85	91	28	211,94
39	28	211,03	92	28	211,84
40	28	211,61	93	28	213,92
41	28	211,37	94	28	213,80
42	28	210,65	95	28	214,23
43	28	210,37	96	28	214,46
44	28	211,28	97	28	212,80
45	28	211,11	98	28	212,62
46	28	211,38	99	28	210,18
47	28	211,46	100	28	210,28
48	28	210,85	101	28	211,39
49	28	211,03	102	28	211,65
50	28	211,61	103	28	212,04
51	28	211,37	104	28	212,09
52	28	210,65	105	28	211,84
53	28	210,37			

Fuente :
Laboratorio : Hormigonera Zimramp S.A.

Anexo N° 3 Tables of Constants and Formulas

	X and R Charts '				X and s Chart '				
	Chart for Averages (X)	Chart for Ranges (R)			Chart for Averages (X)	Chart for Standard Deviations (s)			
Subgroup Size	Factors for Control Limits	Divisors for Estimate of Standard Deviation	Factors for Control Limits		Factors for Control Limits	Divisors for Estimate of Standard Deviation	Factors for Control Limits		
n	A2	d2	D3	D4	A3	c4	B3	B4	d3
2	1,8800	1,1280	-	3,2670	2,6590	0,7979		3,2670	0,8530
3	1,0230	1,6930	-	2,5740	1,9540	0,8862		2,5680	0,8880
4	0,7290	2,0590	-	2,2820	1,6280	0,9213		2,2660	0,8800
5	0,5770	2,3260	-	2,1140	1,4270	0,9400		2,0890	0,8640
6	0,4830	2,5340	-	2,0040	1,2870	0,9515	0,0300	1,9700	0,8480
7	0,4190	2,7040	0,0760	1,9240	1,1820	0,9594	0,1180	1,8820	0,8330
8	0,3730	2,8470	0,1360	1,8640	1,0990	0,9650	0,1850	1,8150	0,8200
9	0,3370	2,9700	0,1840	1,8160	1,0320	0,9693	0,2390	1,7610	0,8080
10	0,3080	3,0780	0,2230	1,7770	0,9750	0,9727	0,2840	1,7160	0,7970
11	0,2850	3,1730	0,2560	1,7440	0,9270	0,9754	0,3210	1,6790	0,7870
12	0,2660	3,2580	0,2830	1,7170	0,8860	0,9776	0,3540	1,6460	0,7780
13	0,2490	3,3360	0,3070	1,6930	0,8500	0,9794	0,3820	1,6180	
14	0,2350	3,4070	0,3250	1,6720	0,8170	0,9810	0,4060	1,5940	
15	0,2230	3,4720	0,3470	1,6530	0,7890	0,9823	0,4280	1,5720	
16	0,2120	3,5320	0,3630	1,6370	0,7630	0,9835	0,4480	1,5520	
17	0,2030	3,5880	0,3780	1,6220	0,7390	0,9845	0,4660	1,5340	
18	0,1940	3,6400	0,3910	1,6080	0,7180	0,9854	0,4820	1,5180	
19	0,1870	3,6890	0,4030	1,5970	0,6980	0,9862	0,4970	1,5030	
20	0,1800	3,7350	0,4150	1,5850	0,6800	0,9869	0,5100	1,4900	
21	0,1730	3,7780	0,4250	1,5750	0,6630	0,9876	0,5230	1,4770	
22	0,1670	3,8190	0,4340	1,5660	0,6470	0,9882	0,5340	1,4660	
23	0,1620	3,8580	0,4430	1,5570	0,6330	0,9887	0,5450	1,4550	
24	0,1570	3,8950	0,4510	1,5480	0,6190	0,9892	0,5550	1,4450	
25	0,1530	3,9310	0,4590	1,5410	0,6060	0,9896	0,5650	1,4350	

Anexo N° 4 Informe de producción
Constructora T&R
Producción de enlucidos y consumo de cemento

Fecha	m2 de Enlucidos	Sacos de cemento Semana	CementoKgs Usados	Kgs de cemento por M2
5-dic-08	25,77	6,49	324,57	12,60
12-dic-08	398,00	100,41	5.020,74	12,62
19-dic-08	302,85	78,50	3.925,02	12,96
9-ene-09	585,64	149,50	7.475,22	12,76
16-ene-09	333,91	83,57	4.178,70	12,51
23-ene-09	178,08	46,10	2.305,14	12,94
30-ene-09	23,12	5,87	293,34	12,69
6-feb-09	361,98	93,04	4.651,93	12,85
13-feb-09	118,50	30,13	1.506,62	12,71
20-feb-09	552,05	143,64	7.182,19	13,01
27-feb-09	180,24	46,62	2.331,20	12,93
6-mar-09	602,95	159,78	7.989,06	13,25
13-mar-09	186,34	48,22	2.411,19	12,94
20-mar-09	160,26	41,28	2.064,16	12,88
27-mar-09	344,16	86,29	4.314,53	12,54
3-abr-09	407,87	103,64	5.181,92	12,70
9-abr-09	105,62	26,52	1.325,79	12,55

Fuente :
Contabilidad Constructora T&R

Anexo N° 5 Costos de enlucidos
Constructora T&R
Costos unitarios de enlucidos por m2 con mortero 1:3
e impermeabilizante

Fecha	Kgs de cemento por M2	Costo/ Kg Cment	Costo del cemento	m3 arena Utilizados por m2	Costo m3 de arena	Costo de la arena	Costom3 de agua	Uso de agua	Costo del agua	Costo M.O.	Costo impermeabilizante	Costo m2 enlucidos
17-abr-09	12,60	0,13	1,64	0,03	8,13	0,20	0,66	0,02	0,02	2,76	0,32	4,93
24-abr-09	12,62	0,13	1,64	0,03	8,13	0,23	0,67	0,02	0,02	2,76	0,32	4,96
30-abr-09	12,96	0,13	1,68	0,02	8,13	0,19	0,67	0,01	0,01	2,76	0,32	4,96
08-may-09	12,76	0,13	1,66	0,02	8,13	0,18	0,66	0,01	0,01	2,77	0,31	4,92
15-may-09	12,51	0,13	1,63	0,04	8,13	0,29	0,68	0,02	0,01	2,78	0,30	5,01
22-may-09	12,94	0,13	1,68	0,03	8,13	0,20	0,67	0,01	0,01	2,78	0,31	4,98
29-may-09	12,69	0,13	1,65	0,03	8,13	0,25	0,67	0,02	0,01	2,77	0,30	4,98
05-jun-09	12,85	0,13	1,67	0,03	8,13	0,21	0,66	0,02	0,01	2,77	0,30	4,96
12-jun-09	12,71	0,13	1,65	0,03	8,13	0,23	0,67	0,02	0,01	2,77	0,30	4,97
19-jun-09	13,01	0,13	1,69	0,02	8,13	0,20	0,68	0,02	0,01	2,76	0,32	4,98
26-jun-09	12,93	0,13	1,68	0,02	8,13	0,17	0,66	0,01	0,01	2,76	0,32	4,94
03-jul-09	13,25	0,13	1,72	0,03	8,13	0,21	0,67	0,01	0,01	2,75	0,33	5,02
10-jul-09	12,94	0,13	1,68	0,02	8,13	0,20	0,67	0,01	0,01	2,77	0,30	4,97
17-jul-09	12,88	0,13	1,67	0,03	8,13	0,25	0,68	0,01	0,01	2,75	0,33	5,01
24-jul-09	12,54	0,13	1,63	0,03	8,13	0,26	0,68	0,02	0,01	2,76	0,32	4,98
31-jul-09	12,70	0,13	1,65	0,03	8,13	0,25	0,68	0,02	0,01	2,77	0,31	4,99
07-ago-09	12,55	0,13	1,63	0,03	8,13	0,27	0,67	0,01	0,01	2,77	0,31	4,99
14-ago-09	13,30	0,13	1,73	0,03	8,13	0,21	0,66	0,02	0,01	2,76	0,32	5,03

Fuente :
Contabilidad Constructora T&R

Anexo N° 6 Programa desarrollado en GAMS para el control de inventarios

```
*Modelo de Compras de Materiales para Obras Civiles
$Offlisting;
Option LimCol=0,LimRow=0,SolPrint=Off,OptCr=0.001;
Sets
  i     Productos          /P1*P3/
  j     Periodos Totales     /Q0*Q9/
  t(j)  Quincenas          /Q1*Q9/;

Table R(i,t) Consumos del Producto i en la Quincena t
       Q1     Q2     Q3     Q4     Q5     Q6     Q7     Q8     Q9
P1     2990   6600   1940   770    900    1400   6300   1340   6127
P2     58     53     54     60     68     52     65     68     67
P3     5760   5354   4239   2008   6204   5217   3967   2020   3965;

Table InvMin(i,t) Inventario Mínimo del Producto i en la Quincena t
       Q1     Q2     Q3     Q4     Q5     Q6     Q7     Q8     Q9
P1     1320   388    154    180    280    1260   268    1225   0
P2     21     21     24     27     21     26     27     27     0
P3     535    424    208    620    521    397    200    396    0;
```

```
Parameters
    H(i) Cantidad de Producto i minimo a comprar para obtener los descuentos
    /P1      2000
     P2        50
     P3      3000/

    Csd(i) Precios del Producto i sin descuentos
    /P1      6.99
     P2     72.90
     P3      0.35/

    Ccd(i) Precios con descuentos para el Producto i
    /P1      6.85
     P2     69.26
     P3      0.32/

    CInv(i) Costo de inventario por unidad de Producto i
    /P1      0.09
     P2      0.87
     P3      0.001/
    InvMax(i) Inventario Maximo de materiales
    /P1      1400
     P2        95
     P3      8686/;

Variables
    Z          Costo Total del Plan de Compras;

Positive Variables
    Xsd(i,t)    Cantidad del producto i a comprar sin descuentos en la quincena t
    Xcd(i,t)    Cantidad del producto i a comprar con descuentos en la quincena t
    S(i,j)      Cantidad del producto i almacenado en la quincena j;

Binary Variables
```

```
    Ysd(i,t)    1 si compro en producto i sin descuento 0 si no;

Equations
    FObjet       Funcion Objetivo
    Res1         Restriccion de Inventario Inicial
    Res2         Restriccion de Consumo
    Res3         Restriccion de Inventario Minimo
    Res4         Restriccion de Flujo de Inventario
    Res5         Restriccion de Cantidades para los Descuentos
    Res6         Restriccion de Cantidades para los Descuentos
    Res7         Restriccion de Contigencia para las compras con descuento
    Res8         Restriccion de Inventario Final
    Res9         Restriccion de Inventario Maximo;

    FObjet..
Z=E=Sum((i,t),Csd(i)*Xsd(i,t))+Sum((i,t),Ccd(i)*Xcd(i,t))+Sum((i,t),CInv(i)*S(i,t))
;
    Res1(i)..     S(i,"Q0")=E=0;
    Res2(i,t)..   Xsd(i,t)+Xcd(i,t)+S(i,t-1)=G=R(i,t);
    Res3(i,t)..   S(i,t)=G=InvMin(i,t);
    Res4(i,t)..   S(i,t)=E=S(i,t-1)+Xsd(i,t)+Xcd(i,t)-R(i,t);
    Res5(i,t)..   Xsd(i,t)=L=H(i)*Ysd(i,t);
    Res6(i,t)..   Xcd(i,t)=G=H(i)*(1-Ysd(i,t));
    Res7(i,t)..   Xcd(i,t)=L=10000000*(1-Ysd(i,t));
    Res8(i)..     S(i,"Q9")=E=0;
    Res9(i,t)..   S(i,t)=L=InvMax(i);

Model Compras /ALL/;

Solve Compras using MIP minimizing Z;
FILE html /'Compras.html'/;
PUT  html;
PUT  html;
```

```
PUT '<H2 ALIGN=CENTER><font color="RED">Plan de Compras de
Materiales para Obras Civiles </H2>'/;
PUT '<H4 ALIGN=CENTER>Costo Total del Plan:</FONT>',Z.l/;
PUT '<p>'/;
PUT '<H2 ALIGN=CENTER><font color="Blue">Plan de Compras sin
Descuento</H2>'/;
PUT '<p>'/;
PUT '<table ALIGN=CENTER border="5" cellpadding="14"
cellspacing="0">'/;
PUT '<tr><th></th>'/;
LOOP (T, PUT '<th BGCOLOR=#23238E><FONT
COLOR=WHITE>',T.tl,'</th>'/);
PUT '</tr>'/;
LOOP (I,
      PUT '<tr><th BGCOLOR=#23238E><FONT
COLOR=WHITE>',I.tl,'</th>'/;
      LOOP(T,
      IF ((Xsd.l(i,t)>0.0),PUT '<td ALIGN=center
BGCOLOR=#AAEBD6>',Xsd.l(i,t):8:2,'</td>'/);
      IF ((Xsd.l(i,t)=0.0),PUT '<td ALIGN=center>',Xsd.l(i,t):8:2,'</td>'/);
      );
      PUT '</tr>'/;);
PUT '</table>'/;
PUT '<p>'/;
PUT '<H2 ALIGN=CENTER><font color="Blue">Plan de Compras con
Descuento</H2>'/;
PUT '<p>'/;
PUT '<table ALIGN=CENTER border="5" cellpadding="14"
cellspacing="0">'/;
PUT '<tr><th></th>'/;
LOOP (T, PUT '<th BGCOLOR=#23238E><FONT
COLOR=WHITE>',T.tl,'</th>'/);
PUT '</tr>'/;
LOOP (I,
```

```
    PUT '<tr><th BGCOLOR=#23238E><FONT COLOR=WHITE>',I.tl,'</th>'/;
    LOOP(T,
    IF ((Xcd.l(i,t)>0.0),PUT '<td ALIGN=center BGCOLOR=#AAEBD6>',Xcd.l(i,t):8:2,'</td>'/);
    IF ((Xcd.l(i,t)=0.0),PUT '<td ALIGN=center>',Xcd.l(i,t):8:2,'</td>'/);
    );
    PUT '</tr>'/;);
PUT '</table>'/;
PUT  '<p>'/;
PUT  '<H2 ALIGN=CENTER><font color="Blue">Niveles de Inventario</H2>'/;
PUT  '<p>'/;
PUT '<table ALIGN=CENTER border="5" cellpadding="14" cellspacing="0">'/;
PUT  '<tr><th></th>'/;
LOOP (J, PUT '<th BGCOLOR=#23238E><FONT COLOR=WHITE>',J.tl,'</th>'/);
PUT  '</tr>'/;
LOOP (I,
    PUT '<tr><th BGCOLOR=#23238E><FONT COLOR=WHITE>',I.tl,'</th>'/;
    LOOP(J,
    IF ((S.l(i,j)>0.0),PUT '<td ALIGN=center BGCOLOR=White>',S.l(i,j):8:2,'</td>'/);
    IF ((S.l(i,j)=0.0),PUT '<td ALIGN=center BGCOLOR=White>',S.l(i,j):8:2,'</td>'/));
    PUT '</tr>'/;);
PUT '</table>'/;
PUT  '<p>'/;
PUTCLOSE;
EXECUTE '=shellexecute Compras.html';
```

Anexo N° 7

Costo Total del Plan: 245333.60

Plan de Compras sin Descuento

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
P1	0.00	0.00	0.00	0.00	1000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Plan de Compras con Descuento

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
P1	4310.00	5668.00	2502.00	0.00	0.00	2380.00	5308.00	2297.00	4902.00
P2	79.00	53.00	57.00	63.00	62.00	57.00	66.00	108.00	0.00
P3	6295.00	5243.00	4023.00	3000.00	5525.00	5093.00	5986.00	0.00	3569.00

Niveles de Inventario

	Q0	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
P1	0.00	1320.00	388.00	950.00	180.00	280.00	1260.00	268.00	1225.00	0.00
P2	0.00	21.00	21.00	24.00	27.00	21.00	26.00	27.00	67.00	0.00
P3	0.00	535.00	424.00	208.00	1200.00	521.00	397.00	2416.00	396.00	0.00

BIBIOGRAFIA

1°.-Universidad de la América, Escuela de Ing. Civil, Dpto. de Ing. Civil, Productividad en la Construcción

Puebla

2°.- Arosemena Guillermo, Ecuador debe Mejorar su Productividad, worksbepprs.com,

3°.- Ignacio Mulas. Productividad en la Construcción, Estudios e información, Madrid SL,

4°.-Lefcovich León Mauricio**,** Características de la Construcción en Latinoamérica, www.monografías.com. Noviembre 22 del 2.004.

5°.-Oficina Internacional del Trabajo, Oficina Subregional para los Países Andinos, Tasas de Productividad para la Construcción Basadas en Mano de Obra, Lima Dic/2.003.

6°.-Lefcovich Mauricio, Reducción de Costos Análisis Crítico**,** www.monografias.com, Mayo 19 del 2.005

7°.-Versen Espinoza Paola SPC Control Estadístico de Procesos, www.monografias.com Piedras Negras México. Diciembre 5 del 2.005

8°.-Lefcovich León Mauricio, Reducción de Costos Mediante Productividades Parciales y Combinadas, Julio 22 del 2.005.

9°.-Autor Anónimo, Manual de Control Estadístico de Procesos, Matemáticas y Poesía.com.

10°.-Lefcovich León Mauricio, Control y Reducción de Costos Mediante Control Estadístico de Procesos, www.monografias.com. Noviembre 6 del 2.004.

11°)Anderson David, Dennis J. Sweeney y Williams Thomas, Estadística para Administración de Empresas y Economía, Octava edición, Math Learning. Junio del 2.007.

12°.-Cámara de la Construcción de Quito, Manual de Precios Unitarios Referenciales, Comunes de Construcción, Quito 2.006.

13°.- Cámara de la Construcción de Quito, Manual de Precios Unitarios Referenciales, Edificación, Quito 2.006.

14°.- Ya-Lun Chou, Análisis Estadístico Segunda Edición Editorial Interamericana, México 1.975.

15°.- Arboleda Sergio, Presupuesto y Programación de Obras Civiles Primera Edición, Fondo Editorial ITM, Medellín Colombia 2.007.

16°.-Banks Jerry, Control de Calidad, Editorial Limusa, México.

17°.- Castillo Enrique, Cornejo Antonio, Pedregal Pablo, García Ricardo y Alguacil Natalia, Formulación y Resolución de Modelo de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencias, Febrero 20/ 2.002.