



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil”

TRABAJO DE GRADUACION

Título del proyecto

**“ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS Y DISEÑO DE UN MODELO DE
CÁLCULO PARA EL CONTROL DE LA MANO DE OBRA EN
PROYECTOS DE AGUA POTABLE”**

Autor:

JUAN CARLOS CAMINOS MORENO

Director:

ING. ALEXIS MARTINEZ

AÑO

2012 – 2013

Riobamba – Ecuador

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: ANALISIS DE RENDIMIENTOS Y DISEÑO DE UN MODELO DE CÁLCULO PARA EL CONTROL DE LA MANO DE OBRA EN PROYECTOS DE AGUA POTABLE presentado por: JUAN CARLOS CAMINOS MORENO y dirigida por: ING. ALEXIS MARTINEZ.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Ángel Paredes
Presidente del Tribunal



Firma

Ing. Alexis Martínez
Miembro del Tribunal



Firma

Ing. Francisco Hernández
Miembro del Tribunal



Firma

**ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS Y DISEÑO DE UN MODELO DE
CÁLCULO PARA EL CONTROL DE LA MANO DE OBRA EN
PROYECTOS DE AGUA POTABLE**

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: Juan Carlos Caminos Moreno y del Director del Proyecto Ing. Alexis Martínez; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo”.

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer a todas aquellas personas que han estado a mi lado apoyándome, en especial a mis padres por siempre acompañarme y guiarme, a mi esposa Lucia Paucar por el apoyo incondicional que siempre me ha brindado para alcanzar mi tan anhelado sueño, al Ingeniero Alexis Martínez por su apoyo inmensurable para el desarrollo de este trabajo de investigación. Mi agradecimiento para mis profesores que supieron impartir sus conocimientos y enseñarme que en la vida hay que luchar por alcanzar una meta.

DEDICATORIA

Al encontrarme en esta etapa de mi vida le doy gracias a dios por darme la fortaleza necesaria para superar todos los obstáculos que se presentaron en mi vida de estudiante. Quiero dedicar esta investigación a mi Adorada esposa Lucy, pilar fundamental para alcanzar esta meta, a mis Padres y Hermanas por todo el apoyo y comprensión que me supieron brindar, para llegar al final de la carrera y en especial a mi hija Eliana Estefanía por ser la inspiración y el motivo por el cual debo superarme, y a todos aquellos que contribuyeron para alcanzar esta meta y superarme.

ÍNDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	I
INDICE DE TABLAS.....	II
INDICE DE GRAFICOS E ILUSTRACIONES.....	III
GLOSARIO Y ABREVIATURAS.....	IV
RESUMEN.....	VI
SUMMARY.....	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. FUNDAMENTACIÓN TEORICA.....	3
2.1 RENDIMIENTO DE LA MANO DE OBRA.....	3
2.2 RENDIMIENTO DEL PERSONAL.....	4
3. METODOLOGÍA.....	17
3.1 TIPO DE ESTUDIO.....	17
3.2 POBLACIÓN MUESTRA.....	17
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	18
3.4 PROCEDIMIENTOS.....	19
3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	20
4. RESULTADOS.....	27
5. DISCUSIÓN.....	34
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
7. PROPUESTA.....	39
7.1. Título de la propuesta.....	39
7.2. Introducción.....	39
7.3. Objetivos.....	40
7.4. Fundamentación Científico – Técnica.....	41
7.5. Descripción de la propuesta.....	48
8. BIBLIOGRAFÍA.....	51
9. APÉNDICES O ANEXOS.....	52

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: CLASIFICACION DE LA EFICIENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA.....	5
Tabla N° 2: FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTOS O CONSUMO DE MANO DE OBRA.....	7
Tabla N° 3: VARIABLE DEPENDIENTE.....	18
Tabla N° 4: VARIABLE INDEPENDIENTE.....	19
Tabla N° 5: MODELO PARA LA TOMA DE DATOS EN CAMPO.....	21
Tabla N° 6: FACTORES ORDENADOS POR GRADO DE IMPORTANCIA.....	28
Tabla N° 7: RESULTADOS EN CUANTO A COSTOS.....	32
Tabla N° 8: ESCALA DE EFICIENCIA DE RENDIMIENTOS.....	43
Tabla N° 9: FACTORES DE INCIDENCIA EN EL RENDIMIENTO.....	43
Tabla N° 10: ESTIMACION DE LOS FACTORES DE INCIDENCIA.....	45

ÍNDICE DE GRÁFICOS E ILUSTRACIONES

Gráfico N° 1: ESQUEMA DE LAS CAUSAS DE PERDIDAS DE LA PRODUCTIVIDAD.....	12
Gráfico N° 2: REALIZACION DE ACTIVIDADES DE CONSTRUCCION.....	15
Gráfico N° 3: PROCEDIMIENTOS.....	20
Gráfico N° 4: PORCENTAJE DE AJUSTE.....	24
Gráfico N° 5: ELECCION DEL MODELO.....	26
Gráfico N° 6: FACTORES POR GRADO DE IMPORTANCIA.....	28
Gráfico N° 7: COSTO INICIAL VS. COSTO FIANAL.....	33

GLOSARIO Y ABREVIATURAS

- **Aleatoriedad.-** Cuando se dice que el fenómeno variará pero se conocen los valores posibles con sus probabilidades (probabilidad de realización), se dice que se está en un universo aleatorio.
- **Certidumbre.-** Cuando existe la seguridad de que un fenómeno se realizará de acuerdo con su previsión, se dice que se está en un universo cierto con todos sus factores controlados.
- **Dificultad.-** Conjunto de circunstancias por las que no se puede hacer, entender o conseguir una cosa sin emplear mucha habilidad, inteligencia o esfuerzo.
- **Disponibilidad.-** El factor de disponibilidad de un equipo o sistema es una medida que nos indica cuanto tiempo está ese equipo o sistema operativo respecto de la duración total durante la que se hubiese deseado que funcionase. Típicamente se expresa en porcentaje. No debe de ser confundida con la rapidez de respuesta.
- **Eficiencia.-** La palabra eficiencia proviene del latín “efficientia” que en español quiere decir: acción, fuerza, producción. Se define como la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un objetivo determinado. No debe confundirse con eficacia que se define como la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera.
- **Factores.-** son los diferentes recursos que contribuyen a la creación de un producto. Algunos bienes libres que contribuyen también a la producción, como el aire o la fuerza de gravedad, no son considerados factores de la misma puesto que no entran en transacciones económicas y su precio es nulo.
- **Mano de obra.-** Se conoce como mano de obra al esfuerzo físico y mental que se pone al servicio de la fabricación de un bien. El concepto también se utiliza para nombrar al costo de este trabajo (es decir, el precio que se le paga al trabajador por sus recursos).

La mano de obra puede clasificarse en directa o indirecta. La mano de obra directa es aquella involucrada de forma directa en la fabricación del producto terminado. Se trata de un trabajo que puede asociarse fácilmente al bien en cuestión.

- **Productividad.-** La productividad es la relación entre la cantidad de productos obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción. También puede ser definida como la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos: cuanto menor sea el tiempo que lleve obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema. En realidad la productividad debe ser definida como el indicador de eficiencia que relaciona la cantidad de recursos utilizados con la cantidad de producción obtenida.
- **Proyecto.-** Un proyecto es una planificación que consiste en un conjunto de actividades que se encuentran interrelacionadas y coordinadas. La razón de un proyecto es alcanzar objetivos específicos dentro de los límites que imponen un presupuesto, calidades establecidas previamente y un lapso de tiempo previamente definido.
- **Rendimiento.-** es la cualificación de la capacidad de producción de un recurso determinado, sea éste mano de obra o maquinaria y por lo general constituye una información propia de cada empresa o área de actividad y depende de muchos factores.
- **Tiempo.-** el tiempo en construcción es importante para el contratista debido a que es el cual en el que se debe ejecutar una obra específica en el contrato usualmente en término de días calendario. Existen muchas razones que hacen el tiempo de construcción muy importante para el dueño de la obra, por lo que se debe administrar correctamente.

RESUMEN

El trabajo que se presenta a continuación propone un análisis que pretende sustancialmente formular un esquema de control de la mano de obra en proyectos constructivos por medio de una hoja electrónica que relaciona los diferentes factores que intervienen en la estimación del valor real del recurso humano.

Este control se realiza en la ejecución del proyecto de Red de Agua Potable San Martín de Veranillo y toma en cuenta variables ambientales, sociales, culturales, económicas y tecnológicas inherentes a cada proyecto. Estos factores regulan la oferta y la demanda por mano de obra, ya que son éstos los que finalmente establece el costo por salarios.

Se tiene como punto de partida el presupuesto y el cronograma de actividades. El administrador del proyecto basado en estos datos y en su experiencia debe obtener el valor más cercano al valor de costo real de la actividad con un alto grado de certeza y que redunde en ahorros para la empresa Constructora o constructor.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA



Dra. Janneth Caisaguano.

6 de Febrero de 2014

SUMMARY

This work is about proposes and analysis which seeks to formulate a procedure to control of the labor costs in construction projects by means of an electronic sheet that relates the different factors that interfere in the human real value estimate..

This control was made in San Martin de Veranillo network water project taking in mind environmental, social, cultural, economic and technological variables for each project. These factors regulate the offer and the demand of labor, because they are establishing the cost of the salaries finally

There are budget and the chronogram of activities to start. Is recommendable that the administrator of the project based on these data and in his experience should obtain the nearest value to the real value cost of the activity with a high degree of certainty and that it results in savings for the company.

CENTRO DE IDIC MAS



1. INTRODUCCIÓN

La construcción como sector productivo de nuestro país, es de gran importancia en el desarrollo económico, pues su dinámica impulsa permanentemente el progreso de la sociedad. Por medio de la construcción se da respuesta a las necesidades de la población, porque el desarrollo de proyectos de infraestructura y de soluciones de vivienda son una fuente de trabajo que utiliza mano de obra de manera intensiva y genera una importante actividad indirecta en otros sectores de la economía del país.

La administración de la construcción viene experimentando un avance significativo por parte de las empresas constructoras en procura de maximizar los recursos con que se disponen; hoy en día existen herramientas tecnológicas que hacen de la industria de la construcción una actividad muy competitiva y dinámica. El éxito de toda empresa o constructor radica en el uso eficiente de las herramientas que la tecnología pone a su disposición.

El proyecto que se propone a continuación es un intento por realizar un control eficiente del recurso humano en procura de sacar el mayor provecho al insumo humano.

El objetivo es diseñar una herramienta para el control de mano de obra anterior a la ejecución; herramienta que tomará en cuenta los factores ambientales, sociales, culturales, económicos y tecnológicos de cada lugar. Los factores mencionados regulan la oferta y demanda del mercado en lo que se refiere a los salarios, por costumbres sociales, culturales, ambientales y tecnológicas.

Se toma como punto de partida un salario base crítico, la jornada laboral y la previsión de pago por horas extras; con esta información se calcula los precios a

pagar por salarios y se establece una relación entre presupuesto y los posibles gastos de la mano de obra, la información resultante será de suma importancia para la toma de decisiones.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La productividad es la relación entre la cantidad producida y los recursos empleados o la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un producto determinado, logrando el cumplimiento de metas deseadas. La importancia de la productividad radica en optimizar los insumos empleados para la ejecución de una actividad, de tal modo que se consiga una mayor cantidad de producto con menor recurso empleado, lo que significa una ganancia en tiempo y utilización de insumo.

Dentro de los insumos requeridos en las obras civiles se cuentan con tres grandes grupos: materiales requeridos para la actividad, relación de equipo y herramienta y mano de obra necesaria para la ejecución de dicha tarea. Esta última depende directamente del rendimiento del personal utilizado, así que puede hacer que la productividad aumente o disminuya dependiendo del comportamiento de los rendimientos producidos en la ejecución de una actividad.

El rendimiento de mano de obra es el tiempo que emplea un obrero o una cuadrilla para ejecutar completamente una determinada cantidad de obra. Se encuentra relacionado directamente con el avance o porcentaje de ejecución de un proyecto, el rendimiento se puede cuantificar por mediciones realizadas en las obras y está sujeto a las condiciones de cada uno de los empleados.

2.1. RENDIMIENTO DE LA MANO DE OBRA

Se define rendimiento de mano de obra, como la cantidad de obra de alguna actividad completamente ejecutada por una cuadrilla, compuesta por uno o varios operarios de

diferente especialidad, normalmente expresada con um/hH (unidad de medida de la actividad por hora Hombre).

El tiempo de ejecución de una obra está compuesto por tres tipos distintos a considerar:

- **Preparatorios.**- son aquellos que se realizan previo a la ejecución del rubro, como la descarga de materiales, preparación de mezclas, etc.
- **Fundamentales.**- estas son las tareas de construcción propiamente dicha, como la colocación de mampuesto en un muro.
- **Accesorios.**- el acarreo de materiales y obras auxiliares como andamios y eventuales entibamientos se encuentran dentro de este tipo.

2.2. RENDIMIENTO DEL PERSONAL

El rendimiento del personal varía según la región e idiosincrasia del mismo, en consecuencia es menester que cada región realice su propio índice de rendimiento. El método para medir es empírico, a lo largo de los años se lleva control sobre las horas que se necesitan para realizar un determinado rubro en la construcción, como en mampostería por ejemplo, se analiza cuantas horas de oficiales y ayudantes se emplearon en su realización, luego se halla la relación de tiempo empleado sobre la cantidad de unidad realizada y así, se obtiene el tiempo necesario a emplearse para realizar una actividad de obra. A este tiempo necesario se lo denomina rendimiento del personal y está dado en “*horas – hombre*”.

La eficiencia en la productividad de la mano de obra, puede variar en un amplio rango que va desde el 0%, cuando no se realiza actividad alguna, hasta el 100% si se presenta la máxima eficiencia teórica posible.

Enmarcados en lo anteriormente descrito se encuentra los rendimientos y consumos reales de mano de obra obtenibles en cualquier condición, para los cuales se han definido diferentes rangos de acuerdo con la eficiencia en la productividad, como se muestra en la tabla a continuación propuesta por John S. Page en su libro “*Estimator’s general constructionman – hour manual*”

TABLA 1: CLASIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA.

EFICIENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD	RANGO
Muy baja	10% - 40%
Baja	41% - 60%
Normal (promedio)	61% - 80%
Muy buena	81% - 90%
Excelente	91% - 100%

Fuente: John S. Page

Se considera como normal o promedio, el rango de eficiencia en la productividad comprendido entre 61% y 80%, por lo tanto, se puede definir como el 70% el valor normal de productividad en la mano de obra, valor que puede ser afectado positiva o negativamente por diferentes factores, obteniéndose así rendimientos mayores o menores al promedio respectivamente.

En resumen se obtendrán tres estimaciones de rendimientos con los que se obtendrá un cuarto que será el rendimiento esperado.

- **Rendimiento optimista (Ro).**- corresponde al valor del rendimiento máximo en su unidad de cantidad producida por unidad de tiempo ($m^2/día$) o bien al valor mínimo en su unidad de tiempo empleado por unidad de producción (hm^2). Valor obtenido durante el cual se puede ejecutar una actividad,

suponiendo circunstancias o factores incidentes favorables, pero excluyendo acontecimientos excepcionales.

- **Rendimiento pesimista (Rp).**- corresponde al valor del rendimiento máximo en su unidad producida por unidad de tiempo ($m^2/día$) o bien al valor mínimo en su unidad de tiempo empleado por unidad de producción (hm^2). Valor obtenido durante el cual se puede ejecutar una actividad, considerando las circunstancias más desfavorables, se presentan dificultades inhabituales y complicaciones imprevistas.
- **Rendimiento medio o más probable (Rm).**- corresponde al valor del rendimiento que es más probable para la realización de la actividad. Esta estimación debe tener en cuenta las circunstancias normales, considerando algunos retrasos debido a imprevistos y debe estar basada en la mejor información de que pueda disponer.
- **Rendimiento medio esperado.**- con los tres rendimientos anteriormente descritos se deduce el Rendimiento Medio Esperado (Re), el cual sirve de base a los cálculos posteriores y es el que analiza el grado de variabilidad de los datos y nivel de confianza del resultado final.

$$Re = \frac{Ro + 4Rm + Rp}{6}$$

La misma fórmula considerando las duraciones queda de la siguiente manera:

$$de = \frac{do + 4dm + dp}{6}$$

Dónde:

do = duración optimista

$$do = \frac{\text{Cantidad de obra}}{Ro}$$

dm = duración medio o más probable

$$dm = \frac{\text{Cantidad de obra}}{Rm}$$

dp = duración pesimista

$$dp = \frac{\text{Cantidad de obra}}{Rp}$$

2.3. FACTORES DE AFECTACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS Y CONSUMOS DE MANO DE OBRA

Cada proyecto de construcción es diferente y se realiza en diversas condiciones, derivándose en diferentes factores que influyen positiva o negativamente en los rendimientos y consumos de mano de obra, como se dijo anteriormente, los cuales los podemos agrupar bajo siete categorías, como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 2: FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO O CONSUMO DE MANO DE OBRA

1	Economía general
2	Aspectos laborales
3	Clima
4	Actividad
5	Equipamiento
6	Supervisión
7	Trabajador

Fuente: Arq. Luis Fernando Botero

- 1. Economía General.-** este factor se refiere al estado económico de la nación o el área específica en donde se desarrolla el proyecto. Los aspectos a ser considerados dentro de esta categoría son los siguientes:

- Tendencias y resultados de los negocios en general
- Volumen de la construcción
- Situación del empleo

Si después de considerar los anteriores aspectos se concluye que la economía general es buena o excelente, la productividad tiende a rebajar, debido a que cuando los sectores están bien, se hace difícil encontrar mano de obra de buena calidad, supervisores competentes, teniendo que recurrir a personal inexperto. En el caso contrario, cuando la economía se encuentra en estados normales, la productividad tiende a mejorar, ya que bajo condiciones normales se dispone de personal calificado para realizar labores de supervisión y ejecución de las actividades.

La economía general en la que se desarrolla el proyecto, produce una reacción en cadena con las otras seis categorías, por lo tanto este aspecto debe ser considerado cuidadosamente. Los factores que hacen parte de esta categoría y que deben ser tenidos en cuenta son los siguientes:

- Disponibilidad de mano de obra, en los casos de actividades que requieran personal calificado (oficiales de construcción)
- Disponibilidad de supervisores (maestros y residentes de obra)
- Disponibilidad de insumos

2. Aspectos laborales.- existe una relación importante entre la productividad de la mano de obra y las condiciones laborales en que se realiza el proyecto de agua potable. La disponibilidad de personal experto y capacitado en la zona donde se realizan los trabajos o la necesidad de desplazar personal de otros sitios con condiciones de pago algunas veces diferentes a las de la zona, son aspectos muy importantes a tener en cuenta. Los aspectos a considerar bajo esta categoría son los siguientes:

- **Tipo de contrato.-** el sistema de subcontratación a destajo favorece considerablemente el rendimiento obtenido, si se compara por un sistema de contratación por día laborado (personal de obra por administración).
- **Sindicalismo.-** el contar con obreros sindicalizados, influye negativamente en el rendimiento de la mano de obra, ya que el sindicalismo mal entendido disminuye la productividad.
- **Incentivos.-** la asignación de tareas o labores a destajo con recompensas por la labor cumplida, favorece el mejoramiento de la productividad de la mano de obra. Una clara y sana política de incentivos aumenta el rendimiento en las cuadrillas de trabajo.
- **Salarios o pago por labores a destajo.-** la justa remuneración por la labor realizada, motiva al obrero a aumentar la productividad de la mano de obra.
- **Ambiente de trabajo.-** las relaciones cordiales entre compañeros y entre personal obrero y jefes, sumado a un ambiente de trabajo con condiciones en las que se tengan en cuenta el factor humano, garantizan un mayor desempeño de la mano de obra.
- **Seguridad social.-** la tranquilidad ofrecida por un sistema de seguridad social que cubra al trabajador y su familia, incentiva el rendimiento de la mano de obra.
- **Seguridad industrial.-** la implementación y desarrollo de programas de seguridad industrial en los sitios de trabajo, disminuyen los riesgos que afectan negativamente la productividad de la mano de obra.

3. Clima.- a diferencia de otras industrias gran porcentaje de las actividades de construcción se realizan a la intemperie, factor que influye negativamente el normal desarrollo de los proyectos. Los antecedentes del estado del tiempo en el área en la que se construye el proyecto de agua potable deben ser considerados, tratando de prever las condiciones durante el periodo de ejecución de la obra. Los factores a considerar dentro de esta categoría son los siguientes:

- **Estado del tiempo.-** condiciones favorables del estado del tiempo en el momento de realizar las actividades, influyen positivamente en la obtención de mejores rendimientos.
- **Condiciones del suelo.-** las lluvias ocasionan condiciones críticas del estado del suelo donde las cuadrillas realizan las actividades, viéndose afectadas negativamente en su desempeño bajo condiciones críticas.

4. Actividad.- las condiciones específicas de la actividad a realizar, las relaciones con otras actividades, el plazo para la ejecución de la misma, los medios para realizarla y el entorno general de la obra; también dentro de esta categoría se deben tener en cuenta algunos aspectos como:

- El grado de dificultad
- El riesgo que se corre en la elaboración de la actividad
- La discontinuidad, las interrupciones en la realización de actividades disminuye la productividad de la mano de obra

5. Disponibilidad de recursos.- la demanda de los recursos o los distintos grados de accesibilidad que se tenga en un determinado proyecto involucra directamente a la calidad y duración final de la partida. Así pues la disponibilidad de recursos afecta a la mano de obra, materiales, maquinaria y herramientas.

6. Equipamiento.- este factor hace referencia a la herramienta y equipo necesario, se ve afectado por:

- La disponibilidad del equipo necesario
- Mantenimiento
- Herramienta
- Elementos de protección para la realización de las actividades que lo necesiten hace que se favorezcan los rendimientos de mano de obra.

7. Supervisión.- el personal que desempeña este trabajo debe contar con experiencia y velar por la calidad de las actividades realizadas. En este factor influyen:

- Los criterios de aceptación del supervisor
- La buena instrucción
- El seguimiento constante a la ejecución de los trabajos
- La idoneidad del supervisor
- La gestión de calidad de la empresa y su aplicación; que hacen que los rendimientos se vean favorecidos.

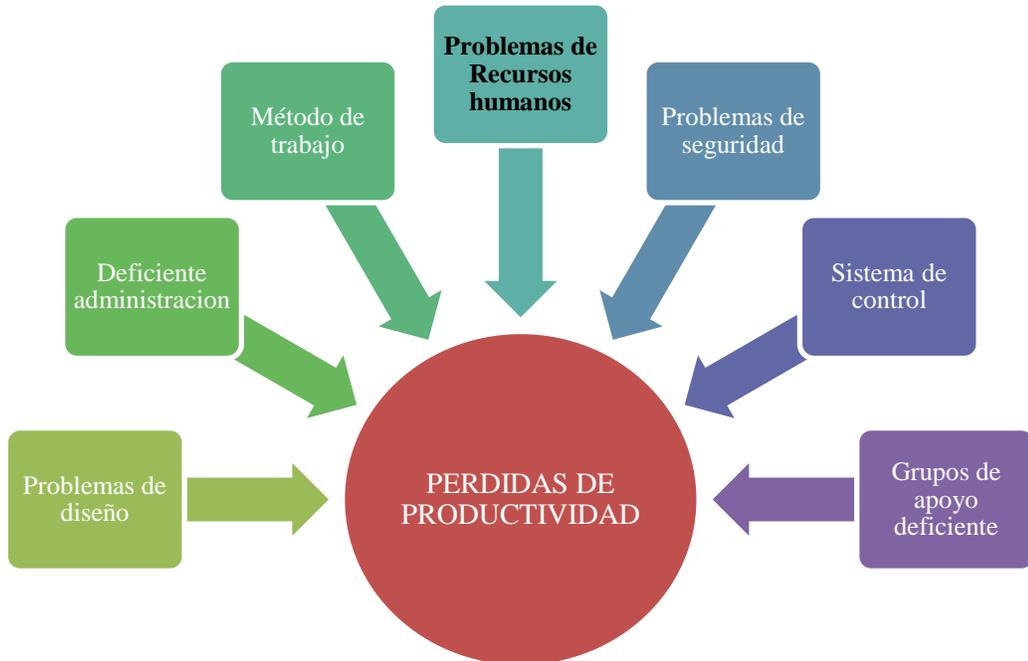
8. Trabajador.- los aspectos personales del obrero son muy importantes para la ejecución de las actividades en estas influye:

- El estado de ánimo
- Situación personal
- Habilidades
- Conocimientos
- Condiciones físicas
- Ritmo de trabajo

CAUSAS DE PÉRDIDAS Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD

Las principales causas que generan pérdidas en la productividad se clasifican en siete categorías como se puede observar en la siguiente figura:

Gráfico No. 1: ESQUEMA DE LAS CAUSAS DE PÉRDIDAS DE LA PRODUCTIVIDAD



- **Problemas de diseño.-** éstos se producen principalmente por grandes deficiencias en la interface ingeniería – construcción y se reflejan en diseños muy complejos, difíciles de construir y problemas de atraso en la concreción de los diseños.
- **Deficiente administración.-** muchos factores provocan deficientes administraciones de los proyectos de construcción, algunos de los cuales se describen a continuación:
 - Alta relación de obreros por número de capataces, lo cual genera una pobre supervisión de las actividades.

- Organizaciones mal diseñadas que reflejan problemas de comunicación en la obra, en todos los niveles.
 - Realización de la planificación de la obra por personas sin los conocimientos necesarios para ello.
- **Método de trabajo inadecuado.-** éste se ocasiona deficiencias en aspectos como:
 - Mala utilización de los recursos, como cuadrillas sobredimensionadas, maquinaria y equipos subutilizados y materiales desperdiciados.
 - Utilización de tecnologías inapropiadas para realizar las actividades inherentes al proyecto en ejecución.
 - No evaluación de alternativas más eficientes para la ejecución de trabajos.
 - Falta de registros de experiencias anteriores que permitan el aprovechamiento de errores pasados que eviten su nueva ocurrencia.
- **Problemas del recurso humano.-** este factor es muy importante, pues generalmente los avances de obra se encuentran asociados a su rendimiento en la construcción. Entre las principales causas que originan los problemas del recurso humano están:
 - Emperismo y pobre capacitación, que se traduce en problemas de calidad y lentitud en la ejecución de las operaciones de construcción.
 - Problemas de inseguridad en la obra, que afectan las condiciones para el normal desarrollo de las actividades.
 - Poca motivación del personal, debido a la falta de incentivos, a la alta rotación y la poca gestión del recurso humano en las obras.
- Problemas de seguridad
 - Sistemas de control deficiente
 - Deficientes grupos y actividades de trabajo

PLAN DE CALIDAD DE LA SECCION PROYECTO Y DIRECCION

En el año 1999 fue elaborado el primer “Plan de Calidad en la Sección Proyecto y Dirección”, a partir del cual en función de las necesidades detectadas, fueron definidos los Objetivos Generales y Particulares a alcanzar, así como los responsables de llevar adelante cada etapa. De la evaluación del mismo fue elaborada la actualización del Plan, de acuerdo a este, fue definido como prioritario avanzar sobre todo el proceso de producción en tres aspectos básicos para cumplir con las tareas asignadas, estos aspectos son:

1. El *aseguramiento de la Calidad* en las tareas que desempeñan la mano de obra calificada y no calificada.
2. La implementación de un *Programa de Capacitación* para asegurar la actualización necesaria del personal, a través de charlas técnicas de carácter mensual.
3. La promoción del *Trabajo en Grupo*, a través de la formación de equipos de trabajo tanto para resolver temas específicos, como para realizar visitas conjuntas a obras y compartir experiencias.

CONTROL DEL AVANCE FISICO FINANCIERO DE LA OBRA

El objetivo principal es contar con una herramienta que permita la detección oportuna de las desviaciones en la ejecución de la obra, determinar su origen y tomar las medidas necesarias para recuperar los trámites necesarios para formalizar la reprogramación de la misma y que ayude a mantener la ejecución de la obra en un ritmo adecuado para el logro de los objetivos.

SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD

El principal objetivo de este punto es verificar permanentemente que la constructora cumpla eficazmente con el proyecto ejecutivo, los procedimientos de construcción, especificaciones, normas, programa y presupuesto del proyecto ejecutivo de la obra contratada. Con la finalidad de proponer las modificaciones y adecuaciones que procedan para garantizar que la obra se realice con la calidad, tiempo, costo y seguridad proyectados.

ERGONOMÍA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION

En el sector de la construcción el problema de la seguridad y salud laboral es uno de los más preocupantes, considerando que es el sector que presenta cada año las cifras más altas de siniestralidad laboral de entre todos los sectores de la economía nacional. La importancia de los riesgos ergonómicos en el sector de la Construcción es cada vez mayor. En España, los sobreesfuerzos físicos constituyen la primera causa de accidentes con baja en el sector (más del 25% del total de accidentes), seguidos a bastante distancia por lo golpes por objetos o herramientas y las caídas. Los principales problemas ergonómicos en el sector de la construcción se asocian fundamentalmente a los siguientes factores:

- La realización de tareas de manipulación manual de cargas
- La realización de tareas repetitivas
- La adopción de posturas de trabajo forzado
- El uso inadecuado de maquinas y herramientas

Gráfico No. 2: REALIZACIÓN DE ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN.



El trabajo en construcción implica, normalmente una actividad física importante, pero el trabajo en zanjas la carga física es especialmente muy elevada, estando agravada por el trabajo en exteriores implica una condiciones termo higrométricas a menudo extremas. El tipo y el elevado número de las demandas físicas en este trabajo ayudan a explicar por qué las lesiones, los trastornos musco esqueléticos y los accidentes por sobreesfuerzo de origen laboral ocupan un importante lugar en este sector.

Tras realizar un análisis de la accidentabilidad tanto en el 2006 como en el 2007 se constata que casi el 50% de los accidentes son sobreesfuerzos, esto debido a la manipulación de cargas y a las posturas adoptadas en los trabajos de excavación y colocación de tuberías en zanjas.

3. METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE ESTUDIO

Debido a que la presente investigación se la realizará en el campo para la consecución de los datos, será una investigación de campo o experimental y por el tipo de razonamiento se la puede considerar como una investigación científica. Y en cuanto al nivel de conocimiento a adquirirse será considerada como una investigación descriptiva.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población que se tiene es finita, ya que se tiene conocimiento del número de elementos que la integran.

El marco muestral será la Red de Agua Potable San Martín de Veranillo con una longitud de 67 km desde el Sector Y a San Gerardo hasta la calle Ayacucho en sentido transversal y desde la Av. Circunvalación hasta la calle García Moreno en sentido longitudinal. Además entrará en análisis cada uno de los Rubros conformantes para la ejecución del Proyecto Contratado y en ejecución Red San Martín de Veranillo.

3.2.1. TAMAÑO DE LA MUESTRA

- Para calcular el tamaño de la muestra se aplicará la siguiente fórmula:

$$n = \frac{PQ * N}{(N - 1) * \frac{E^2}{K^2} + PQ}$$

Dónde:

n= Tamaño de la muestra.

PQ = Constante de la varianza = 0.25

N = Tamaño de la población

E = Error máximo admisible (al 1%, 2%, 3%, 4%, 8%) a mayor error probable, menor tamaño de la muestra).

K = Coeficiente de corrección del error (2)

$$n = \frac{0.25 * (67)}{(67 - 1) * \frac{(0.05)^2}{(2)^2} + 0.25}$$

$$n = 57.51$$

3.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

- **3.3.1. Variable dependiente:** Rendimiento de la mano de obra.

TABLA 3: VARIABLE DEPENDIENTE

CONCEPTO	CATEGORIA	INDICADOR	INDICE	TECNICA INSTRUMENTAL	FUENTE
Es la cualificación de la capacidad de producción de un recurso determinado, sea éste mano de obra o maquinaria y por lo general constituye una información propia de cada empresa o área de actividad y depende de muchos factores.	Mano de Obra	Volumen de Obra ejecutado (horas/hombre)	Efectividad y eficiencia del análisis del rendimiento de la mano de obra.	Análisis en campo	Tesista

Elaborado por: Juan Carlos Caminos Moreno.

3.3.2. Variable independiente: Tiempo factor de afectación del rendimiento y consumo de la mano de obra

TABLA 4: VARIABLE INDEPENDIENTE

CONCEPTO	CATEGORIA	INDICADOR	INDICE	TECNICA INSTRUMENTAL	FUENTE
El tiempo en construcción es importante para el contratista debido a que es el cual en el que se debe ejecutar una obra específica en el contrato usualmente en término de días calendario. Existen muchas razones que hacen el tiempo de construcción muy importante para el dueño de la obra, por lo que se debe administrar correctamente.	Rendimiento	Equipo Método Constructivo Personal Calificado	<ul style="list-style-type: none"> • Rubros componentes del presupuesto del Proyecto de Agua Potable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas y fichas de campo 	Normas Ecuatorianas de Construcción

Elaborado por: Juan Carlos Caminos Moreno

3.4. PROCEDIMIENTOS

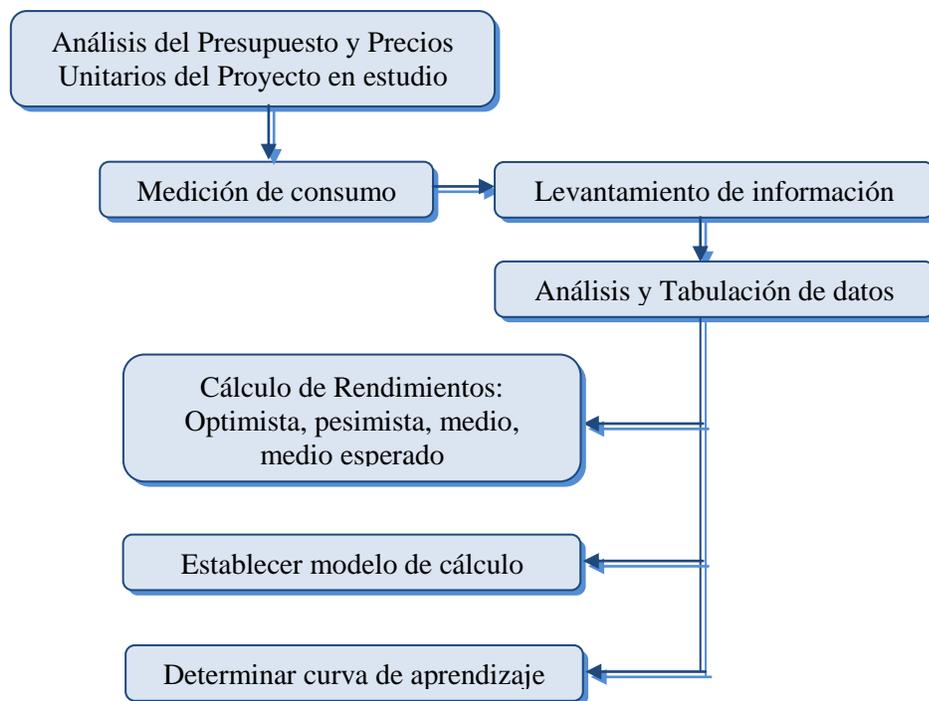
Para la elaboración del presente proyecto se llevará a cabo cuatro etapas principales:

- I. Reconocimiento del lugar y rubros conformantes para la realización de la presente investigación.
- II. Recolección de la información de campo. Para esta etapa se deberá recolectar toda la información del desarrollo del trabajo realizado por la mano de obra en cada uno de los rubros que forman parte de la investigación.

- III. Análisis y Tabulación de datos recolectados. En este punto se deberá clasificar, analizar y tabular todas las hojas de campo, que fueron tomadas durante la investigación.
- IV. La siguiente etapa será la elaboración del modelo de cálculo para el control de la mano de Obra mediante una hoja de cálculo Excel, donde se tendrá como base de datos a más del cálculo de rendimiento horas – hombre el jornal hora establecido para el año 2013 por la Contraloría General del Estado.

Para mayor comprensión de lo antes expuesto se presenta el siguiente cuadro:

Gráfico 3: PROCEDIMIENTO



3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

La presente investigación tiene que seguir los siguientes procesos para la consecución de resultados:

3.5.1. TOMA DE DATOS

La importancia de obtener datos adecuados y asegurarse que son correctos. Con frecuencia este proceso es el mayor reto de todo el proceso de pronóstico y el más difícil de controlar, ya que las etapas siguientes se efectúan sobre los datos, sean o no relevantes para el problema en cuestión. Siempre que se hace necesario obtener datos pertinentes en una organización, abundan los problemas de recopilación y control de calidad.

Para el desarrollo de esta etapa se ha elaborado una tabla en Excel con las siguientes características:

TABLA No. 5: MODELO PARA LA TOMA DE DATOS EN CAMPO

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD EJECUTADA	PERSONAL				HORA		DURACION MEDIDA (Minutos)			AVANCE %	DURACION PROYECTADA		RENDIMIENTO
			Oficial	Albañil	Maestro de obra	Ce	Inicio	Fin	Bruta	Dcto.	Neta		Min.	Hora	

Fuente.- Juan Carlos Caminos

- **Rubro.-** se especifica qué tipo de actividad se va a desarrollar.
- **Fecha.-** se anotará el día en que se realiza la toma de la observación para tener una idea general de los datos.-

PERSONAL

- **Oficial.-** número de oficiales que laboran en la actividad
- **Albañil/Gasfitero.-** número de albañiles o gasfiteros para desarrollar una actividad específica.
- **Maestro de obra.-** número de maestro que estará a cargo del desarrolla de una determinada actividad.

- **Ce.-** cuadrilla equivalente, donde se indicará la relación de Oficiales correspondientes por cada albañil/ gasfitero.

Debido a la necesidad de comparar los rendimientos de mano de obra que se van a obtener en las diferentes actividades, se enfatizará la mano de obra ya que para la realización de una misma actividad fueron utilizados diferentes cuadrillas y por lo tanto, esto no permite el equilibrio en cuanto al personal requerido para la ejecución de una actividad. Así que apoyados en la experiencia y tradición en la ejecución de las tareas de un proyecto de agua potable, se trasladaron los rendimientos a una cuadrilla conformada por un albañil/gasfitero y un oficial o cuadrilla base.

Teniendo en cuenta la complejidad de ciertas actividades, es necesario trabajar con un mayor número de personas, y en algunas ocasiones el personal presentará una proporción diferentes entre albañiles/gasfiteros y oficiales, como ejemplo se puede tener que para una actividad determinada se presenta una cuadrilla de 4 albañiles y 14 oficiales como personal de trabajo, de lo cual se calcula la cuadrilla equivalente como la relación de el número de oficiales entre el número de albañiles arrojando como resultado 3.5.

DURACION

- **Bruta.-** es el tiempo total en el que se hace la toma de datos. La unidad de medida está dada en minutos.
- **Dcto.-** descuentos, es el tiempo en el que la cuadrilla hace una pausa y deja de realizar la actividad específica, dado en minutos.
- **Neta.-** es la duración sin descuentos, es la diferencia entre la duración bruta y los descuentos. La unidad de medida es en minutos.
- **Avance %-** es el porcentaje de ejecución de la actividad durante el tiempo de la toma de datos.

DURACION PROYECTADA

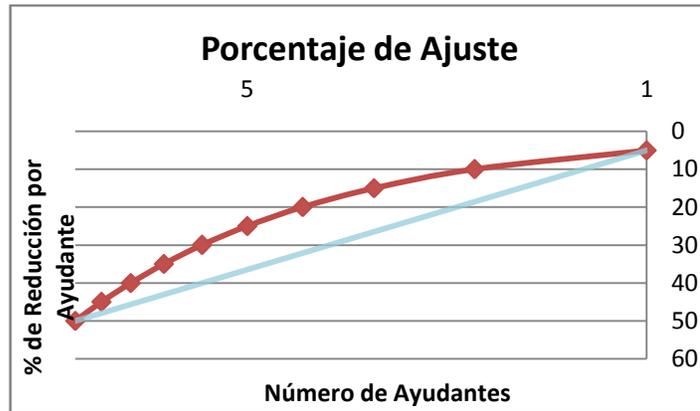
- ***Min.-*** es la proyección de la duración neta al 100%. Su unidad de medida está dada en minutos.
- ***Hora.-*** es la duración proyectada en horas

La cuadrilla está conformada por el albañil quien es la persona que determina el tiempo de ejecución de la actividad, ya que es el encargado de marcar el ritmo de trabajo, de aportar el conocimiento y la experiencia en una labor y el oficial de construcción es quien facilita el trabajo, realizando labores tales como el transporte de materiales, insumos, equipos o realizando labores repetitivas en las cuales no es necesario el conocimiento, ni la mano de obra calificada. Debido a ello para la elaboración de esta investigación se parte de la hipótesis que a mayor cantidad de oficiales, menor duración de la actividad, con la observación que existe un límite de oficiales.

Se asume el porcentaje de reducción de tiempo máximo posible con oficiales es del 30% y que cada oficial adicional a la cuadrilla base puede reducir hasta un 10% el tiempo de ejecución de la actividad, mas no se presenta más reducción de tiempo así se adicione cualquier cantidad más de oficiales; pues la labor se terminará en el mismo tiempo en el que la realizará una cuadrilla base y tres oficiales adicionales, salvo que los trabajadores no presentaran situación de cansancio físico.

La reducción de tiempo debe ser un modelo exponencial decreciente, es decir, a mayor número de oficiales, cada vez la reducción es mayor. No obstante para una mayor facilidad del modelo, se asume una reducción lineal, dando a cada ayudante un 10% de ajuste.

Gráfico No. 4.- PORCENTAJE DE AJUSTE



La metodología de ajuste real, parte de la base que cada albañil/gasfitero puede conformar una cuadrilla que trabaje en un frente (cuadrilla equivalente) de iguales características. Luego la duración de cada frente será igual a la duración total de la cuadrilla original multiplicada por el número de frentes.

La duración resultante debe ajustarse en función del número de oficiales adicionales por cuadrilla equivalente. Para esto se divide el número total de oficiales de la cuadrilla real entre el número de albañiles/gasfiteros, de modo que el resultado menos uno será el número de oficiales adicionales por cuadrilla equivalente. Finalmente el porcentaje de ajuste en tiempo será el producto de multiplicar el número de oficiales adicionales por el 10% que aportaría cada uno.

Entonces los oficiales adicionales aportaran un porcentaje de descuento para la proyección del tiempo, es decir, se hace la multiplicación entre la duración neta en minutos por el número de frentes, éste resultado se multiplica por la diferencia dentro el 100% de ejecución y el porcentaje de descuento.

$$D_{neta} \times No. de frentes \times [100\% - (10\% \times (No. ayudantes adicionales))]$$

RENDIMIENTO

- ***Hr/m³***.- es el resultado obtenido de la relación entre la duración proyectada (horas) y de cantidad de obra ejecutada.

3.5.2. CLASIFICACION DE DATOS

La reducción de datos con frecuencia es necesaria ya que en proceso de pronóstico es posible tener muchos o muy pocos datos. Algunos datos pueden no ser pertinentes al problema, por lo que reducirían la precisión del pronóstico. Otros datos pueden ser los adecuados, pero solo en ciertos periodos históricos.

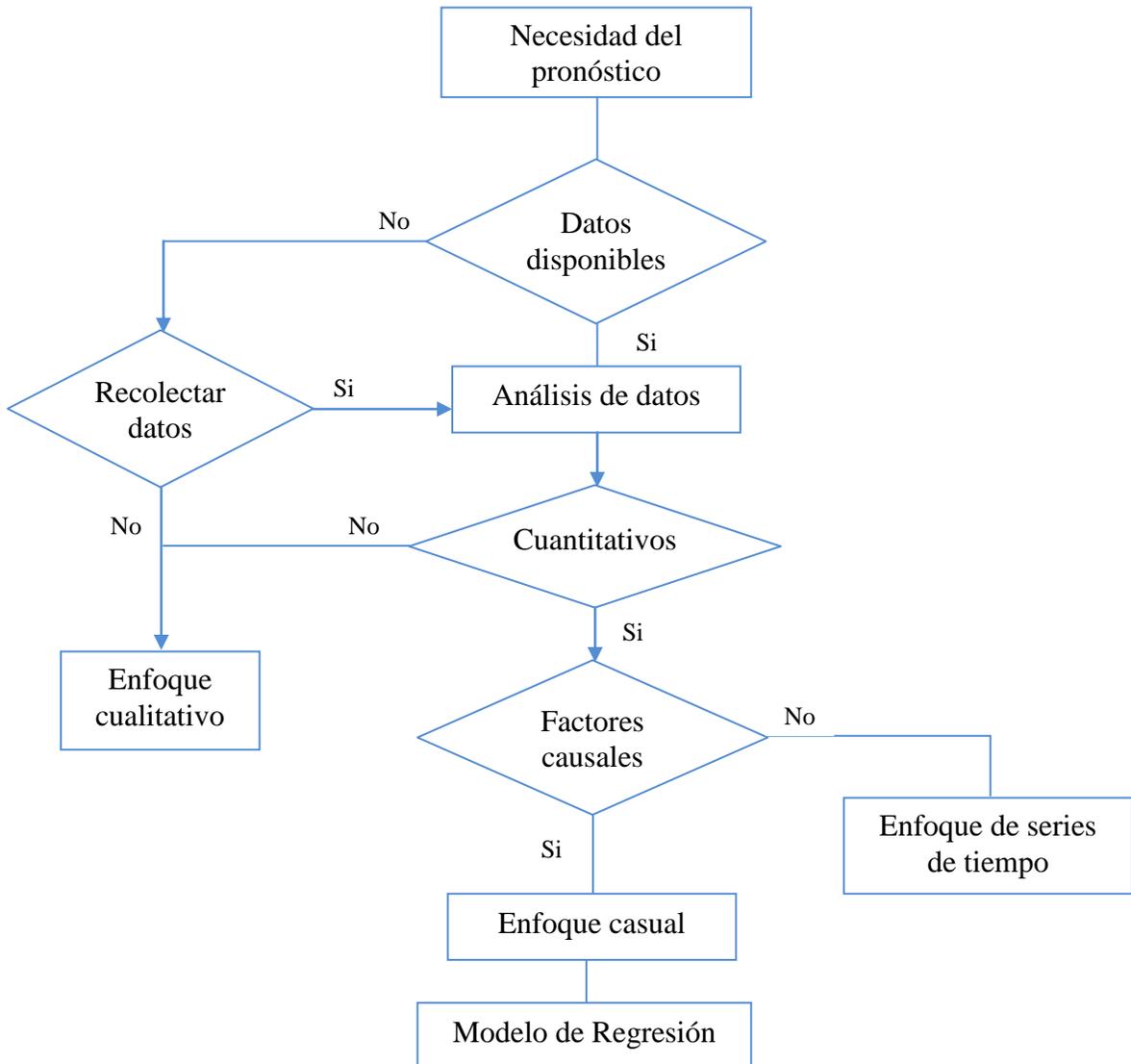
3.5.3. ELABORACION DEL MODELO DE CÁLCULO

- La construcción de un modelo implica ajustar los datos reunidos en un modelo de pronóstico que sea el adecuado para minimizar el error del pronóstico. Entre más sencillo sea el modelo, será mejor para lograr la aceptación del mismo.
- La conocida planilla de cálculo Excel nos ofrece una herramienta de complemento para realizar análisis de estadísticos de manera fácil y se caracteriza por ser una herramienta al alcance de todos los usuarios, no necesita de complementos extras.
- Para el análisis del control de la mano de obra de un proyecto de agua potable, se ha elaborará un software empleando las hojas electrónicas de Excel y se determinara la curva de aprendizaje de los diferentes actores y rubros.

3.5.4. ELECCION DEL MODELO

Si se considera lo descrito anteriormente un modelo tentativo es un modelo de regresión, sin embargo, para poder aseverar esta situación y poder comprender mejor la elección se presenta el siguiente esquema donde se indica el recorrido realizado en la investigación para estimar una desición:

Gráfico No. 5.- ELECCIÓN DEL MODELO



4. RESULTADOS

La investigación realizada busca la determinación de los rendimientos reales de la mano de obra necesaria para la ejecución de proyectos de agua potable, es decir en la Red San Martín de Veranillo que es donde se ha desarrollado la investigación, considerando a la mano de obra como uno de los componentes más significativos que aparece en todas las obras de ingeniería.

Los proyectos basados en mano de obra, sin embargo, son casi enteramente dependientes de la productividad de la mano de obra. Siempre que los trabajadores estén organizados y abastecidos apropiadamente con las herramientas correctas, deben ser capaces de llevar a cabo la mayoría de las actividades usualmente realizadas por maquinaria. Sin embargo, es esencial hacer estimaciones realistas de la productividad esperada de la mano de obra con el fin de planificar y efectivamente ejecutar una obra basada en mano de obra.

Con la investigación realizada se pudo determinar la cantidad media de trabajo que puede ser esperada de un trabajador promedio, con una salud razonable, basándose en la información obtenida a lo largo de la ejecución de la obra. Sin embargo, estas cifras pueden ser afectadas por muchos factores, los cuales están afortunadamente en la mayoría de los casos bajo el control de la gerencia del proyecto.

Un punto importante a considerar es que los factores que se han seleccionado son los que afectan de una u otra manera a los recursos que influyen en la duración de la actividad (mano de obra, maquinaria), y son estos los que causan variaciones en los costos de los presupuestos, en resumen se puede decir que estos recursos tienen costos variables, pues su costo final depende del tiempo y esta variabilidad es la que

no está considerada en los estudios actuales de presupuesto, por lo menos no como se considera en esta investigación.

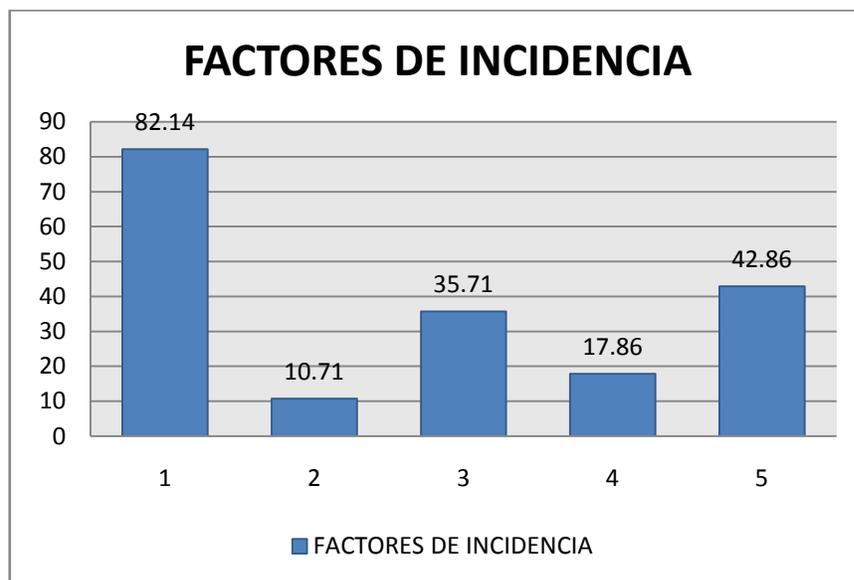
Se determinó los factores más importantes, a partir de una encuesta realiza a un total de 28 trabajadores destinados a la ejecución de distintas actividades se tiene como resultados lo siguiente:

TABLA No. 6.- FACTORES ORDENADOS POR GRADO DE IMPORTANCIA

FACTORES ORDENADOS POR GRADO DE IMPORTANCIA				
No.	FACTOR	FRECUENCIA	% DE OCURRENCIA	% T.F
1	CLIMA	23	82.14	46.00
2	CALIDAD MANO DE OBRA	3	10.71	6.00
3	CALIDAD DE MATERIALES	10	35.71	20.00
4	CALIDAD DE MAQ. Y EQUIPOS	5	17.86	10.00
5	DISPONIBILIDAD DE RECURSOS	12	42.86	24.00

Fuente.- Juan Carlos Caminos

Gráfico No. 6.- FACTORES POR GRADO DE IMPORTANCIA



En cuanto al cálculo de rendimientos obtenidos mediante mediciones en campo y día a día se tiene como resultados los siguientes:

- **Excavación de zanjas a máquina en suelo sin clasificar profundidad de 0 a 2 m**

Una vez realizado el análisis de los datos para la actividad o rubro mencionado se tiene los siguientes resultados: La cuadrilla utilizada estuvo conformada por 2 albañiles y 3 oficiales que al día ejecutan una cantidad promedio de 79.34 m³ con un rendimiento promedio real de **0.065 Hr./m³**.

Rendimiento óptimo = 0.078

Rendimiento pesimista = 0.071

Rendimiento medio probable = 0.075

Rendimiento medio esperado = 0.075

- **Preparación de fondo con material propio**

Dado el análisis de datos se obtuvo los siguientes resultados: la cuadrilla utilizada estuvo conformada por 3 oficiales que al día ejecutan una cantidad promedio de 125.94 m con un rendimiento promedio real de **0.013 Hr./m³**.

Rendimiento óptimo = 0.076

Rendimiento pesimista = 0.045

Rendimiento medio probable = 0.0605

Rendimiento medio esperado = 0.061

- **Relleno compactado inicial con material propio de excavación**

Para la ejecución del mencionado rubro se obtuvo los siguientes resultados: la cuadrilla utilizada estuvo conformada por 1 albañil y 1 oficial que al día ejecutan una cantidad promedio de 12.09 con un rendimiento promedio real de **0.236 Hr./m³**.

Rendimiento óptimo = 0.306

Rendimiento pesimista = 0.271

Rendimiento medio probable = 0.2885

Rendimiento medio esperado = 0.289

- **Relleno compactado final con material base**

Analizados los datos se obtuvo los siguientes resultados: la cuadrilla utilizada estuvo conformada por 1 albañil y 1 oficial que al día ejecutan una cantidad promedio de 22.67 m³ con un rendimiento promedio real de **0.118 Hr./m³**.

Rendimiento óptimo = 0.106

Rendimiento pesimista = 0.139

Rendimiento medio probable = 0.150

Rendimiento medio esperado = 0.150

- **Relleno compactado final con material propio**

Analizados los datos se obtuvo los siguientes resultados: la cuadrilla utilizada estuvo conformada por 1 albañil y 1 oficial que al día ejecutan una cantidad promedio de 44.58 m³ con un rendimiento promedio real de **0.061 Hr./m³**.

Rendimiento óptimo = 0.105

Rendimiento pesimista = 0.083

Rendimiento medio probable = 0.094

Rendimiento medio esperado = 0.094

- **Instalación tubería PVC 63mm; 0.80 Mpa u/ela**

Analizados los datos se obtuvo los siguientes resultados: la cuadrilla utilizada estuvo conformada por 1 gasfitero y 1 ayudante que al día colocan una cantidad promedio de 124.80 m con un rendimiento promedio real de **0.019 Hr./m³**.

Rendimiento óptimo = 0.026

Rendimiento pesimista = 0.022

Rendimiento medio probable = 0.024

Rendimiento medio esperado = 0.024

- **Instalación Tee PVC U/E d=63mm**

Analizados los datos se obtuvo los siguientes resultados: la cuadrilla utilizada estuvo conformada por 1 gasfitero y 1 ayudante que al día colocan una cantidad promedio de 1.0 u con un rendimiento promedio real de **0.321 Hr./m3.**

Rendimiento óptimo = 0.322

Rendimiento pesimista = 0.322

Rendimiento medio probable = 0.242

Rendimiento medio esperado = 0.269

- **Instalación codo PVC U/E d=63mm x 90°**

Analizados los datos se obtuvo los siguientes resultados: la cuadrilla utilizada estuvo conformada por 1 gasfitero y 1 ayudante que al día colocan una cantidad promedio de 1.20 u con un rendimiento promedio real de **0.377 Hr./m3.**

Rendimiento óptimo = 0.378

Rendimiento pesimista = 0.378

Rendimiento medio probable = 0.284

Rendimiento medio esperado = 0.315

- **Suministro e Instalación válvula de compuerta con cuadro BB d=150mm**

Analizados los datos se obtuvo los siguientes resultados: la cuadrilla utilizada estuvo conformada por 1 gasfitero y 2 ayudante que al día colocan una cantidad promedio de 1.00 u con un rendimiento promedio real de **3.875 Hr./m3.**

Rendimiento óptimo = 5.125

Rendimiento pesimista = 4.500

Rendimiento medio probable = 3.844

Rendimiento medio esperado = 4.167

- **Conexiones domiciliarias de AP termofusión 63 x ½"**

Finalmente se analizó los datos tomados para la ejecución de las conexiones domiciliarias obteniendo los siguientes resultados: la cuadrilla utilizada estuvo conformada por 2 gasfitero y 3 ayudante que al día colocan una cantidad promedio de 10.00 u con un rendimiento promedio real de **0.823 Hr./m3**.

Rendimiento óptimo = 1.107

Rendimiento pesimista = 0.965

Rendimiento medio probable = 0.830

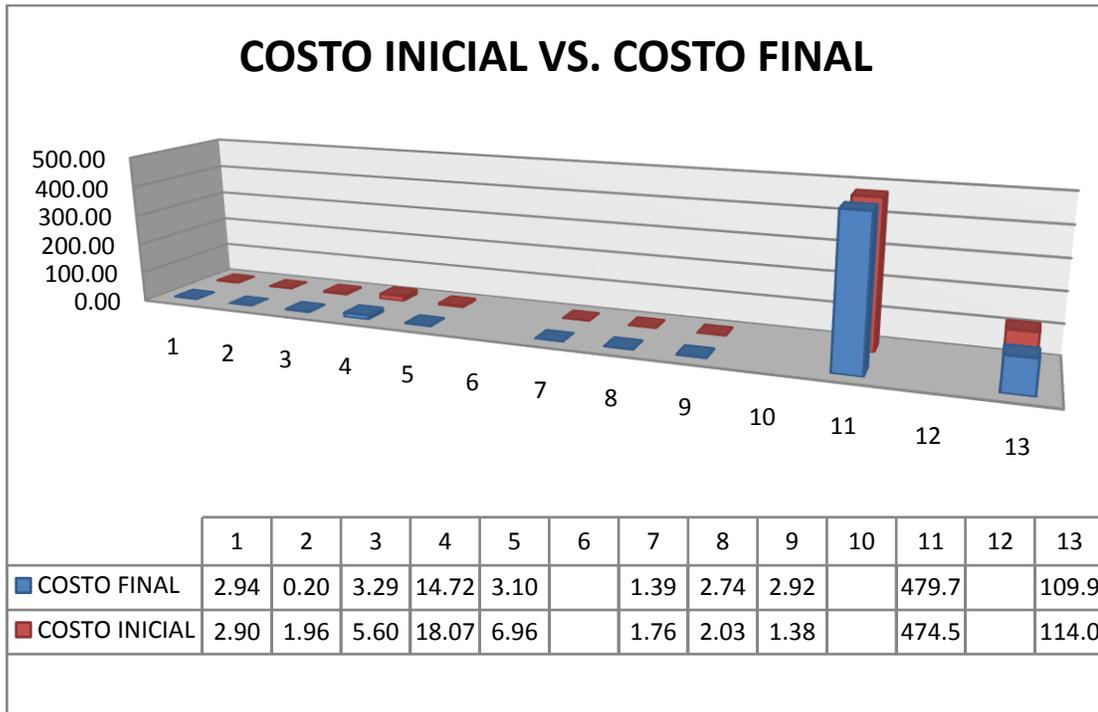
Rendimiento medio esperado = 0.899

A continuación se presenta los resultados obtenidos en cuanto a costo contratado y costo real durante la ejecución de las distintas actividades:

TABLA No. 7.- RESULTADOS EN CUANTO A COSTO

RUBROS DE OBRA	UNIDAD	PRECIO PAGADO	PRECIO SEGÚN ESTUDIO	% PRECIO PAGADO/PRECIO ESTUDIO
Excavación de zanjas a máquina en suelo sin clasificar profundidad de 0 a 2m	m3	2.90	2.94	0.99
Preparación de fondo con material propio	m	1.96	0.20	9.8
Relleno compactado inicial con material propio de excavación	m3	5.60	3.29	1.7
Relleno compactado final con material de base	m3	18.07	14.72	1.23
Relleno compactado final con material propio	m3	6.96	3.10	2.25
Instalación tubería PVC 63mm; 0.80 Mpa u/ela	m	1.76	1.39	1.27
Instalación Tee PVC U/E d=63mm	u	2.03	2.74	0.74
Instalación codo PVC U/E d=63mm x 90°	u	1.38	2.92	0.47
Suministro e Instalación Válvula de compuerta con cuadro BB d=150mm	u	474.56	479.72	0.99
Conexiones domiciliarias de AP termofusión 63 x 1/2"	u	114.07	109.97	1.04

Gráfico No. 7.- COSTO INICIAL VS. COSTO FINAL



5. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos durante la investigación se establece dos conceptos que a menudo se confunden:

- ***Rendimiento de mano de obra.***- cantidad de obra de alguna actividad completamente ejecutada por uno o varios trabajadores de diferente especialidad por unidad de recurso humano, normalmente esperada en unidad de medida de la actividad por hora hombre.
- ***Consumo de mano de obra.***- cantidad de recurso humano en horas – hombre, que se emplea por uno o varios trabajadores de diferente especialidad, para ejecutar completamente la cantidad unitaria de alguna actividad, expresada como hH/um.

Existen muchos factores que pueden influir en el rendimiento de la mano de obra, de los cuales los más relevantes son:

- Condiciones climatológicas (lluvia, temperatura)
- Calidad de la mano de obra
- Calidad de materiales
- Calidad de maquinaria y equipo
- Disponibilidad de recursos

Y además existen otros factores que no son de mucha relevancia pero no menos importantes tenemos:

- Malas relaciones personales del jefe con los trabajadores
- Condiciones de contratación no satisfactorias

Una vez determinado todo lo antes expuesto se deberá establecer de manera correcta los costos que conllevan realizar una obra, ayuda a saber de manera aproximada; si el precio al cual se oferta el servicio, permite obtener un grado de rentabilidad aceptable o no. Para ello es importante un buen análisis de precios unitarios, ya que no solo basta con tomar en cuenta precios de materiales y mano de obra sino también circunstancias especiales en que se haya de realizar la obra.

En tal motivo para tener datos reales se ha propuesto el empleo de encuestas, así como se pone a consideración la hoja electrónica EXCEL con la cual se ha desarrollado tanto la tabulación de datos como para la obtención de resultados. Como se trabaja con datos reales, es decir condiciones reales de la mano de obra debido a la gran importancia de esta al momento de determinar el costo de cada rubro, se podrá tomar como un valor aceptable cada uno de los rendimientos optimizando tiempo y recursos para su obtención.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Nuevos proyectos y observaciones realizadas en diferentes obras, ayudarán a precisar los resultados obtenidos como consumos estándar y modelos de regresión lineal que consideran los factores de afectación en el cálculo del consumo de mano de obra. De esta forma, la base de datos incluirá cada vez más resultados confiables de los consumos de mano de obra que pueda ser utilizada por los profesionales y las empresas constructoras, facilitando las labores de planeación y control de los proyectos, encaminadas al mejoramiento de la productividad del recurso humano en el sector.
- Los nuevos proyectos de investigación encaminados a la medición de la productividad y metodologías para su mejoramiento, pueden tomar como punto de partida los consumos estándar determinados en este trabajo. Una vez implementados los modelos de mejoramiento, se requerirán nuevas mediciones comparables con las presentes en esta investigación, las cuales determinarán el efecto generado por los programas implementados.
- Esfuerzos conjuntos entre los sectores académico y productivo deben confinarse si se desea mejorar la competitividad del sector de la construcción en nuestro país, garantizando la divulgación y aplicación de investigaciones realizadas en proyectos de construcción.
- Una vez comparados los costos contratados y los resultantes en la presente investigación, se puede concluir que el sistema tradicional de remuneración en los proyectos de construcción en nuestro medio, no consideran la

productividad de las cuadrillas que realizan los trabajos, convirtiéndose en un sistema desequilibrado e injusto en ambas partes, generando en algunas oportunidades inconvenientes que no favorecen el normal desarrollo del proyecto.

- La diferencia entre los precios pagados y los analizados de acuerdo con el desempeño de sus trabajadores en la mayoría de las actividades de este estudio, permiten concluir que el constructor subsidia la improductividad de la mano de obra, generada por múltiples factores atribuibles a la poca gestión en la supervisión de algunos trabajadores o a deficiencias en las etapas de planeación y control de algunos profesionales encargados de la dirección y el desarrollo de las obras.

- Los resultados obtenidos en esta investigación van dirigidos principalmente a los profesionales de la construcción, antes que para cualquier entidad pública, ya que en dichas instituciones al momento de entregar ofertas prevalece los salarios y rendimientos de la contraloría general del estado, este es un estudio que nos enseña como optimizar el rendimiento de la mano de obra y de esta manera se pueda obtener una mejor ganancia tanto en tiempo como en dinero.

6.2. Recomendaciones

- Para futuras mediciones se propone adelantar registros en los que se contemple la toma respectiva de datos en áreas iguales, evaluando la misma actividad desarrollada por una misma cuadrilla, con el objetivo de mejorar la homogeneidad de los datos obtenidos.
- Para seleccionar las actividades medidas se describieron los criterios tenidos en cuenta en este estudio. Se recomienda su uso debido a que la selección involucra múltiples aspectos, como la importancia de evaluar el impacto que representa el costo en porcentaje de cada actividad con respecto al costo total del proyecto.
- En los registros obtenidos fue posible observar que cuando la cuadrilla es especializada en realizar una actividad específica, la productividad aumenta. Por lo tanto se sugiere tener en cuenta este aspecto como un nuevo factor a evaluar en futuras mediciones y como un método que permite alcanzar un nivel más alto de productividad.
- La medición de la productividad comprende una de las etapas que deben ser realizadas para su mejoramiento. De la misma manera se recomienda identificar y definir claramente los procesos constructivos, realizando un diagnóstico del mismo, con el fin de evaluar, implementar estrategias y acciones de mejoramiento.

7. PROPUESTA

7.1. Título de la propuesta

“RENDIMIENTOS Y DISEÑO DE UN MODELO DE CÁLCULO PARA EL CONTROL DE LA MANO DE OBRA EN PROYECTOS DE AGUA POTABLE”

7.2. Introducción

Hoy en día en la Rama de la Ingeniería Civil la mayor parte de profesionales toman muy a la ligera el rendimiento de la mano de obra, siendo este un punto muy importante y trascendental al momento de realizar un presupuesto, al contrario que si logramos definir exactamente y en la realidad el rendimiento de la mano de obra se podrá definir una cuadrilla específica para realizar el rubro que se esté analizando y de esta manera realizar el cronograma de trabajo y garantizar la eficiencia y rendimiento de la mano de obra.

Los profesionales de la construcción realizan su análisis de precios unitarios sin tomar en cuenta la incidencia que tiene el rendimiento de la mano de obra en la realización de los mismos, mediante esta investigación podremos determinar y cuantificar la verdadera importancia que tiene el rendimiento, y de esta manera se podrá obtener una cuadrilla optima de trabajo y consecuentemente lograr un rendimiento único para mejorar el precio unitario de un rubro determinado.

La mano de obra, como uno de los componentes en el proceso productivo, aparece como una de las variables que afectan la productividad. Por tal razón se hace necesario conocer los diferentes factores que afectan la mano de obra, clasificándolos

y determinando una metodología para medir su afectación en los rendimientos y consumos de mano de obra de los diferentes procesos de producción.

Por tal motivo la presente investigación tiene como finalidad realizar un análisis detallado del rendimiento de la mano de obra en proyectos de ejecución de agua potable y de esta manera proponer un modelo a seguir en cuanto a la utilización coherente de la mano de obra.

7.3. Objetivos

7.3.1. GENERAL

- Realizar un análisis de rendimientos y de esta manera obtener un diseño de un modelo de cálculo para el control de la mano de obra en proyectos de agua potable, previa a la ejecución.

7.3.2. ESPECÍFICOS

- Realizar análisis de rendimientos actuales para determinar si los costos regulan la oferta y demanda del mercado en lo que se refiere a los salarios por costumbres sociales, culturales, ambientales y tecnológicas.
- Diseñar un modelo de cálculo para el control de la mano de obra previa a la ejecución de actividades que se tiene para el desarrollo de un Proyecto de agua potable, tomando como punto de partida el Salario Unificado y Jornada laboral, mediante la utilización de algoritmos de programación en las Hojas de Cálculo Excel.

7.4. Fundamentación Científico –Técnica

La investigación busca mejorar la productividad en obra, se llevó a cabo el estudio sobre rendimientos de la mano de obra mediante el seguimiento detallado del desarrollo del proyecto. En el transcurso de la investigación la aprobación de la metodología necesaria para la obtención de los rendimientos fue una constante. Cada una de las etapas del proceso ha sido manejada de forma adecuada en las distintas áreas del estudio.

Es posible identificar cada una de las distintas fases llevadas a cabo para la obtención de los rendimientos que conformaron la base de datos, descritas y definidas en forma general así:

- Determinación del método empleado para medir los rendimientos
- Determinación del sitio de estudio
- Determinación y caracterización de las actividades a estudiar
- Recolección de la información necesaria
- Análisis de la información
- Observación y conclusiones

PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA

La productividad y su mejoramiento permanente es uno de los principales objetivos de quien administra una empresa, proyecto u operación. La productividad definida según Serpell¹ como la relación entre la cantidad producida y los recursos empleados en ello, o la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un producto específico, logrando el cumplimiento de las metas deseadas, está asociada a un proceso de transformación de recursos.

¹ Serpell Alfredo. Administración de Operaciones de Construcción, 2da Edición, Pág. 29

En un proceso constructivo los recursos empleados en los proyectos son los materiales, la mano de obra, la maquinaria y equipos. Sin embargo como es de conocimiento el presente estudio se enfocó en la productividad de la mano de obra. La productividad de la mano de obra es el recurso que generalmente fija el ritmo de trabajo en la construcción.

Teniendo en cuenta que existen diversos factores que la pueden afectar, se define entonces que la eficiencia de la cantidad de obra que ejecuta completamente una cuadrilla en una unidad de tiempo, puede variar dentro de un rango de 0 a 10%.

Después de analizar datos de rendimientos para muchas actividades, se encuentra una alta dispersión, debido a la intervención de los diferentes factores que afectan la productividad. Lo que se hace necesario es tener en cuenta estos factores, identificarlos y cuantificar su intervención para lograr obtener rendimientos normalizados, información que pueda ser utilizada en obras futuras.

Distintos autores que han profundizado en el tema de rendimientos, ubican el rendimiento normal de la mano de obra dentro de un rango que varía entre el 55 y el 70% dentro de la escala propuesta de 0 a 100. En este trabajo se escogió la cifra del 70% de productividad como la más apropiada para fijar el rendimiento normal. Este será el rendimiento normalizado que se encontrará en cada serie de datos que se tomen para cada actividad seleccionada.

Los rendimientos en condiciones de trabajo son afectados positiva o negativamente por distintos factores. Cuando la afectación es positiva, se presentan rendimientos en el rango de eficiencia de 71 a 100% y cuando la afectación es negativa, los rendimientos oscilan en el rango de 0 a 69%. La escala de eficiencia en los rendimientos se muestra en la siguiente tabla y cabe mencionar que ésta se utilizó como base para evaluar los rendimientos obtenidos en cualquier toma de datos efectuada.

TABLA No. 8.- ESCALA DE EFICIENCIA DE RENDIMIENTOS

EFICIENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD	RANGO EN PORCENTAJE
Muy baja	10 a 40
Baja	41 a 60
Promedio o normal	61 a 80
Muy buena	81 a 90
Excelente	91 a 100

Fuente: Rendimientos y Consumos de Mano de Obra. SENA-CAMACOL

VALORIZACION DE LOS FACTORES

Para cualquier tabla de medición de rendimiento existente considerando factores es necesario evaluar los grupos que inciden en el rendimiento en el momento de controlar la actividad, para ello es necesario establecer parámetros que analicen su grado de incidencia, es decir, si su presencia influye mucho, poco o nada en la determinación final del rendimiento de la actividad.

Sin duda alguna es difícil establecer una evaluación de dichos rangos de incidencia, ya que es necesario establecer valores o conceptos que se puedan adaptar a cualquier actividad que se necesite medir y posteriormente considerar a futuro.

Al analizar los factores: clima, calidad mano de obra, calidad de los materiales, calidad de máquinas y equipos y disponibilidad de recursos; todos tienen en común que no presentan una valorización numérica sino más bien nominal, de esta manera se han considerado los conceptos detallados en la siguiente tabla:

TABLA No. 9.- FACTORES DE INCIDENCIA EN EL RENDIMIENTO

FACTOR	PESO	SIGNIFICADO
1. Clima (CLI)	0	No Influye
	1	Invierno
	2	Verano / Primavera

2. Calidad de mano de obra (CMO)	0	No Influye
	1	Mala
	2	Mediana
	3	Buena
3. Calidad de materiales (CMT)	0	No Influye
	1	Mala
	2	Mediana
	3	Buena
4. Calidad de máquinas y equipos (CMQ)	0	No Influye
	1	Mala
	2	Mediana
	3	Buena – Alta
5. Disponibilidad de recursos (DRE)	0	No influye
	1	Baja: verano
	2	Mediana
	3	Alta: invierno

Fuente: Rendimientos y Consumos de Mano de Obra. SENA-CAMACOL

Para el caso del clima se han considerado las diferentes estaciones del año, es decir; verano e invierno, pues es importante diferenciar un rendimiento que se realiza en verano es distinto a uno que se ha considerado en invierno, si haciendo la salvedad del sector del país que se trate.

El factor Disponibilidad de los recursos, se relaciona principalmente a la mano de obra y esta disponibilidad influye de manera directa en el rendimiento. La disponibilidad de recursos está relacionada también con la época de mayor o menor construcción, en el verano por el clima hay más construcciones y por consiguiente más demanda de recursos (menos disponibilidad), al contrario en invierno es menor la cantidad de construcciones y por ende la demanda de recursos es menor (mayor disponibilidad)

Sin duda la situación más importante para la determinación de los factores es la construcción directa, pues es en ella donde se puede apreciar realmente, aunque algunos factores influyentes son fáciles de visualizar por su grado de influencia e importancia como por ejemplo, el clima

En la siguiente table se mostrará los resultados de los factores que según los trabajadores u obreros afectan el rendimiento en la estimación de presupuestos:

TABLA No. 10.- ESTIMACIÓN DE LOS FACTORES DE INCIDENCIA

No.	FACTOR	FRECUENCIA	% DE OCURRENCIA	% T.F
-----	--------	------------	-----------------	-------

Fuente: Rendimiento y consumo de Mano de Obra. SENA - CAMACOL

Donde:

Frecuencia.- es la frecuencia con que se ha repetido un mismo factor por los distintos encuestados.

% de Ocurrencia.- porcentajes de ocurrencia de los factores con respecto al número de trabajadores, esto mide la cantidad de trabajadores que consideran un mismo factor.

% T.F.- porcentaje respecto al total de factores, mide la cantidad del factor respecto al total, para medir la importancia de un factor respecto a los otros factores.

METODOLOGIA PERT ADAPTADA A LA ESTIMACION DE COSTOS Y TIEMPOS

Es común utilizar PERT en redes de programación, es decir en la estimación de duraciones y si se considera lo expuesto que indica la relación con los rendimientos variables (mano de obra y maquinaria) y que estos son base primordial para estimar

duraciones, estos también relacionan el costo variable del precio unitario y del costo total de la partida, considerando que el costo de los materiales es fijo.

La tabla estadística el mejor rendimiento es el rendimiento optimista (Ro), el peor rendimiento es el rendimiento pesimista (p), el rendimiento medio (Rm) es la media matemática de los rendimientos:

$$Rm = \frac{\sum_{i=1}^n Ri}{n}$$

Donde:

Ro = Rendimiento optimista = Mejor rendimiento

Rp = Rendimiento pesimista = Peor rendimiento

Una vez obtenidos los rendimientos Ro, Rm y Rp se determinan las duraciones reemplazando el rendimiento correspondiente en la fórmula, de esta manera se tiene:

$$De = \frac{\text{Cantidad de Obra}}{Re} \Rightarrow Re = \frac{Ro + 4Rm + Rp}{6}$$

$$Do = \frac{\text{Cantidad de Obra}}{Ro}$$

$$Dp = \frac{\text{Cantidad de Obra}}{Rp}$$

$$Dm = \frac{\text{Cantidad de Obra}}{Rm}$$

Empleando la varianza, se evalúa el riesgo o probabilidad de cumplir una fecha específica programada.

Este último punto es uno de los grandes aportes del sistema PERT, pues permite ajustar la programación para garantizar un nivel de riesgo o confiabilidad aceptable para la administración, pudiendo hacer un intento de garantizar una confiabilidad cercana al 100% tomando acciones apropiadas.

Este riesgo se define en términos de probabilidades de acuerdo a la siguiente fórmula, que puede aplicarse a cualquier acontecimiento, para determinar la probabilidad de una fecha específica programada (S_j):

$$R_j = \frac{S_j - TE_j}{T^x_j}$$

Donde:

S_j = Tiempo de terminación impuesto programado de la actividad (j)

TE_j = Tiempo más temprano de término de la actividad (j)

T^x_j = Desviación típica del tiempo más temprano de término de la actividad

Considerando la fórmula de riesgo y teniendo en cuenta que se determina para una probabilidad del 50%, es posible calcular probabilidades de terminar la obra en fechas impuestas o determinar la fecha de término de la obra para una probabilidad dada.

Al considerar el análisis de precios de la partida, es posible visualizar un análisis de costos probabilísticos con la estimación de los rendimientos óptimo, medio, pesimista y esperado (R_o , R_m , R_p y R_m).

Dentro de la metodología PERT se definirá dos rendimientos que son:

- **Rendimiento Determinístico.**- el término determinístico quiere decir, fijar los términos de una cosa, de acuerdo a esto y para el desarrollo de esta investigación, se llamará rendimiento determinístico a cuyo rendimiento que no considera en su evaluación factores incidentes, ni experiencia pasada, no

efectúa un análisis probabilístico en condiciones de incertidumbre, por ende es el rendimiento de una actividad que mantiene fijos los factores que inciden en su duración.

- **Rendimiento Probabilístico.**- el término probabilístico quiere decir, que se encuentra en calidad de probabl, que algo puede suceder, de acuerdo a esto y para el desarrollo de esta investigación, se llamará rendimiento probabilístico a cuyo rendimiento agrega una incertidumbre al tiempo de desarrollo o duración de una actividad.

Una vez obtenidos los rendimientos y duraciones anteriormente descritas se tendrá que definir la desviación estandar que no es mas que, la medida de fluctuación o variabilidad de los datos respecto a la media aritmética, es mucho más adecuada para interpretar dicha variabilidad que la varianza ya que está expresada en unidades al cuadrado mientras que la desviación estándar tiene igual unidad de medida que los datos iniciales.

La fórmula considerando las duraciones queda de la siguiente manera:

$$\text{Desviación estándar} = \sigma = \frac{dp - do}{3.2}$$

Donde:

dp = duración pesimista calculada con el rendimiento pesimista

do = duración optimista calculada con el rendimiento optimista

7.5. Descripción de la propuesta

Los proyectos en gran escala por una sola vez han existido desde tiempos antiguos; este hecho lo atestigua la construcción de las pirámides de Egipto y los acueductos de Roma. Pero sólo desde hace poco tiempo se han analizado por parte de los

investigadores operacionales los problemas gerenciales asociados con dichos proyectos.

La metodología PERT es una técnica para el planteamiento y control; su fundamento lo constituye el gráfico de redes, que representa el trabajo necesario para alcanzar su objetivo.

Este sistema podría decirse que es una evolución del sistema CPM, pero su aparición en el tiempo los hace contemporáneos, casi paralelos. La diferencia radical con el CPM es que aquí se agrega una incertidumbre al tiempo de desarrollo o duración de cada actividad.

Existen muchas razones por lo que es mejor no especificar una sola duración para una actividad, es común que los proyectos tengan actividades no repetitivas, puede ser que nunca se haya realizado la actividad y quizás no exista seguridad sobre cuanto tiempo tardará.

Los valores de rendimiento de la mano de obra, dependen no sólo del ser humano, quien es quizás el elemento más importante en una obra, ya que sólo con la participación de éste es posible llevar a cabo la ejecución de los trabajos y como tal, diariamente se ve enfrentado a un sin número de factores propios y del entorno como lo es el clima, la calidad, entre otros, y que de una u otra forma afecten en su comportamiento y por ende en su rendimiento.

Como ejemplo en proyectos de construcción, el clima siempre incierto es un factor preponderante en la duración de actividades. Como resultado aún cuando se pueda realizar la actividad varias veces, el tiempo que dura puede variar cada vez, así las duraciones pueden considerarse aleatorias.

Para el caso de esta investigación se ha establecido como base, el cálculo de rendimientos que contempla el sistema PERT, el que se basa en tres estimaciones de rendimientos de una actividad cualquiera y a partir de las cuales se obtiene una duración esperada.

En resumen se obtendrán tres estimaciones de rendimientos con los que se obtendrá un cuadro que será el rendimiento esperado:

- Rendimiento optimista
- Rendimiento pesimista
- Rendimiento medio o más probable

Una vez obtenidos los rendimientos antes descritos se procederá a calcular la duración esperada para cada una de las actividades.

En la investigación también se determinará los factores principales de incidencia en el rendimiento de la mano de obra.

8. BIBLIOGRAFÍA

- BOTERO Luis Fernando. “Análisis de Rendimientos y consumo de mano de obra en actividades de construcción”. Revista Universal EAFIT No. 128. Diciembre 2002.
- CANO Antonio y DUQUE Gustavo. “Rendimientos y consumos de mano de obra”. Medellín: SENA – CAMACOL – 2000.
- PRIDA José. “Configuración de presupuestos en empresas constructoras de Santiago. Universidad Nacional Andrés Bello. 1997.
- SERPELL B. Alfredo. “Administración de Operaciones de Construcción”. Segunda Edición. Alfaomega Editores, 2002.
- CASTANYER F. Francesc. “Control de Métodos y Tiempos”. México: Alfaomega Editores, 1999 – p 166.
- CONSUEGRA Julián Guillermo. “Presupuestos de la construcción”. Bogotá: Bhandar Editores, 2006 – páginas 79 – 98.
- POLANCO Lina. “Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción”. Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga 2009 – p 186.

9. APÉNDICES Y ANEXOS

- 9.1. **ANEXO 1:** TOMA DE DATOS EN CAMPO
- 9.2. **ANEXO 2:** COSTO Y RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA INICIAL
- 9.3. **ANEXO 3:** CALCULO Y RESULTADOS DE RENDIMIENTOS
- 9.4. **ANEXO 4:** CALCULO Y RESULTADOS DE DURACIONES
- 9.5. **ANEXO 5:** ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS CALCULADOS A PARTIR DE LA INVESTIGACION
- 9.6. **ANEXO 6:** FACTORES DE INCIDENCIA
- 9.7. **ANEXO 7:** RESUMEN DE LA INVESTIGACION
- 9.8. **ANEXO 8:** REGISTRO FOTOGRAFICO