

MODELO DE PLANEACIÓN Y CONTROL DINÁMICO DE TIEMPOS EN
ACABADOS DE OBRA PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN DE
VIVIENDAS EN COLOMBIA.



SERGIO ANDRÉS DONOSO ROJAS

UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRIA EN GERENCIA DE INGENIERÍA
CHÍA
2019

Modelo de planeación y control dinámico de tiempos en acabados de obra para el sector de la construcción de viviendas en Colombia.

Sergio Andrés Donoso Rojas

Trabajo de Grado para optar al título de Magíster en Gerencia de Ingeniería

Director

Msc. Leonardo José González Rodríguez

UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRIA EN GERENCIA DE INGENIERÍA
CHÍA
2019

Tabla de contenido

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 8 |
| TÍTULO | 9 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 9 |
| IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 9 |
| PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 11 |
| OBJETIVOS | 11 |
| Objetivo General..... | 11 |
| Objetivos Específicos | 11 |
| METODOLOGÍA | 12 |
| Estadística descriptiva e inductiva adicional | 12 |
| Identificación de patrones en el rendimiento de actividades en las obras civiles de vivienda a nivel local..... | 13 |
| Simulación de la metodología integral y dinámica aplicada a la programación y control de actividades de acabados..... | 13 |
| JUSTIFICACIÓN | 14 |
| ALCANCE DEL PROYECTO | 15 |
| ANTECEDENTES | 16 |
| MARCO TEÓRICO | 18 |
| Análisis validación de datos | 26 |
| Estadística descriptiva | 28 |
| Definición de la estructura de desglose del trabajo (WBS)..... | 29 |
| Metodología integral y dinámica aplicada a la programación y control de proyectos. | 29 |
| Variables No Controlables..... | 30 |
| Probabilidad e impacto de las variables no controlables..... | 32 |
| OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN | 34 |
| Toma de datos..... | 34 |
| ANÁLISIS DE DATOS | 39 |
| Análisis estadístico actividades de acabados Mirador del Campo | 43 |
| Análisis estadístico actividades de acabados Tierra Linda..... | 54 |

| | |
|---|------------|
| Comparación gráfica de contratistas por actividad..... | 64 |
| Resumen de rendimientos..... | 72 |
| Pruebas de homogeneidad (test de Levene) | 74 |
| Funciones del modelo..... | 80 |
| Estructura de trabajo de los proyectos observados..... | 80 |
| Caracterización y Análisis de la estructura del Modelo | 83 |
| Restricciones del Modelo | 88 |
| Modos y Políticas de control | 91 |
| Descripción del desarrollo Metodología integral y Dinámica..... | 94 |
| RESULTADOS DE SIMULACIÓN..... | 99 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 104 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 111 |
| ANEXOS | 113 |
| Anexo #1 Prueba de Normalidad..... | 113 |
| Anexo # 2 Prueba de tipo de Distribución en variables No controlables. | 121 |
| Anexo # 3 Modelo de Simulación | 124 |

Lista de tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Probabilidad e impacto de Aspectos Ambientales | 33 |
| Tabla 2. Probabilidad e impacto de Eventos Climáticos..... | 33 |
| Tabla 3. Probabilidad e impacto de Reprocesos..... | 33 |
| Tabla 4. Características generales de los proyectos observados. | 35 |
| Tabla 5. Ejemplo cálculo de horas reales 3 escenarios..... | 36 |
| Tabla 6. Cantidades de obra a ejecutar por apartamento en Mirador del Campo..... | 38 |
| Tabla 7. Cantidades de obra a ejecutar por apartamento en Tierra Linda. | 38 |
| Tabla 8. Fragmento de cuadro de registro y control de avance de actividades. | 39 |
| Tabla 9. Análisis de correlación múltiple Enchape MDC. | 43 |
| Tabla 10. Análisis de correlación múltiple Pintura MDC. | 44 |
| Tabla 11. Análisis de correlación múltiple Cielo Raso MDC. | 46 |
| Tabla 12. Análisis de correlación múltiple Aseo MDC | 48 |
| Tabla 13. Análisis de correlación múltiple Carpintería MDC..... | 49 |
| Tabla 14. Análisis de correlación múltiple Ventanería MDC. | 51 |
| Tabla 15. Análisis de correlación múltiple Mesones en Granito MDC. | 52 |
| Tabla 16. Análisis de correlación múltiple Enchape TL. | 54 |
| Tabla 17. Análisis de correlación múltiple Pintura TL. | 55 |
| Tabla 18. Análisis de correlación múltiple Cielo Raso TL. | 57 |
| Tabla 19. Análisis de correlación múltiple Aseo TL..... | 59 |
| Tabla 20. Análisis de correlación múltiple Carpintería TL..... | 60 |
| Tabla 21. Análisis de correlación múltiple Ventanería TL. | 62 |
| Tabla 22. Análisis de correlación múltiple Mesones en Granito TL..... | 63 |
| Tabla 23. Resumen de rendimientos de obra MDC..... | 72 |
| Tabla 24. Resumen de rendimientos de obra TL..... | 72 |
| Tabla 25. Cuadro comparativo de rendimientos entre los registros de Construdata y las obras MDC y TL. | 73 |
| Tabla 26. Función general por actividad y valor R2 según línea de tendencia. | 80 |
| Tabla 27. Relación de las actividades en función de la importancia de precedencia. | 82 |
| Tabla 28. Matriz de precedencias | 82 |
| Tabla 29. Cantidades de obra a ejecutar por torre en Mirador del Campo..... | 91 |
| Tabla 30. Modos de operación del sistema | 93 |
| Tabla 31. Resultados simulación del modelo base. | 99 |
| Tabla 32. Resultados Política de Control 1 | 101 |
| Tabla 33. Resultados Política de Control 2 | 101 |
| Tabla 34. Resultados Política de Control 3 | 102 |
| Tabla 35. Resultados Política de Control 4 | 103 |
| Tabla 36. Fragmento tabla unidades acumuladas 3ra mano. | 104 |
| Tabla 37. Tabla resumen evaluación políticas..... | 104 |
| Tabla 38. Tabla resumen resultados simulación – políticas de control | 105 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Logo Mirador del Campo; Tomado de http://www.ingenieriasolidaltda.com | 34 |
| Ilustración 2. Logo Tierra Linda; Tomado de http://makroconstrucciones.com.co/ | 35 |
| Ilustración 3. Cuadro de control semanal de avance en obra. | 37 |
| Ilustración 4. Ajuste de tendencia de datos Enchape MDC | 44 |
| Ilustración 5. Ajuste de tendencia de datos Pintura MDC | 45 |
| Ilustración 6. Ajuste de tendencia de datos Cielo Raso MDC | 47 |
| Ilustración 7. Ajuste de tendencia de datos Aseo MDC | 48 |
| Ilustración 8. Ajuste de tendencia de datos Carpintería MDC | 50 |
| Ilustración 9. Ajuste de tendencia de datos Ventanería MDC | 51 |
| Ilustración 10. Ajuste de tendencia de datos Mesones en Granito MDC | 53 |
| Ilustración 11. Ajuste de tendencia de datos Enchape TL | 54 |
| Ilustración 12. Ajuste de tendencia de datos Pintura TL | 56 |
| Ilustración 13. Ajuste de tendencia de datos Cielo Raso TL | 58 |
| Ilustración 14. Ajuste de tendencia de datos Aseo TL | 59 |
| Ilustración 15. Ajuste de tendencia de datos Carpintería TL | 61 |
| Ilustración 16. Ajuste de tendencia de datos Ventanería TL | 62 |
| Ilustración 17. Ajuste de tendencia de datos Mesones Granito TL | 64 |
| Ilustración 18. Comparativo de tendencias Enchape | 65 |
| Ilustración 19. Comparativo de tendencias Cielo Raso | 66 |
| Ilustración 20. Comparativo de tendencias Pintura | 67 |
| Ilustración 21. Comparativo de tendencias Carpintería | 68 |
| Ilustración 22. Comparativo de tendencias Aseo | 69 |
| Ilustración 23. Comparativo de tendencias Ventanería | 70 |
| Ilustración 24. Comparativo de tendencias Mesones Granito | 71 |
| Ilustración 25. Resultados prueba de homogeneidad actividades de Pintura | 75 |
| Ilustración 26. Resultados prueba de homogeneidad actividades de Cielo Raso | 76 |
| Ilustración 27. Resultados prueba de homogeneidad actividades de Enchape | 77 |
| Ilustración 28. Resultados prueba de homogeneidad actividades de Carpintería | 77 |
| Ilustración 29. Resultados prueba de homogeneidad actividades de Mesones en Granito | 78 |
| Ilustración 30. Resultados prueba de homogeneidad actividades de Aseo | 79 |
| Ilustración 31. Diagrama de precedencias acabados de obra | 83 |
| Ilustración 32. Caracterización general del sistema | 83 |
| Ilustración 33. Diagrama Ishikawa, análisis causal para el cambio de modo | 84 |
| Ilustración 34. Bucle de retroalimentación modelado para una actividad | 85 |
| Ilustración 35. Estructura del modelo general para las actividades de acabados | 86 |
| Ilustración 36. Representación Forrester de la dependencia de las actividades de acabos de obras | 87 |

RESUMEN

Este proyecto expone y plantea una solución a la problemática de los tiempos de finalización de actividades y los diferentes rendimientos de los contratistas de acabados en obras, partiendo de sus tiempos reales en función de las horas hombre trabajadas. El correcto seguimiento y control de las actividades le permite a la dirección de los proyectos de obras civiles contar con una información clara sobre los tiempos de finalización de las actividades más aterrizados a la realidad, mejorando los procesos de control de costos, contrataciones y tiempos de entrega tanto de los contratistas en sus actividades específicas como en la del producto final al cliente.

Se cuenta con dos años de registros de avance de obra en dos proyectos de vivienda NO VIS (No vivienda de interés social) en zonas aledañas a la ciudad de Bogotá, las cuales cuentan con características distintas en su ubicación geográfica, permitiendo analizar los resultados de manera independiente para poder correlacionarlos y determinar un modelo de planeación que generalice el desarrollo de este tipo de proyectos.

Dentro del desarrollo del trabajo de investigación se determina estadísticamente el comportamiento que describen las variables que intervienen directamente en el rendimiento y avance en los acabados de obra, esto permite definir un marco de referencia inicial real que se utilizaran en el modelo de control a desarrollar.

La revisión bibliográfica permite encontrar patrones de comparación en los rendimientos de acabados de obra a nivel nacional, sin embargo, dentro de la investigación a nivel internacional, se pudo determinar que, al presentar tantas diferencias en los procedimientos, materiales y calidad de mano de obra, es imposible relacionar los datos encontrados con los descritos en literatura internacional consultada.

Como aplicación práctica resultado del trabajo de investigación realizado, se presenta un modelo computacional dinámico enfocado en las actividades de acabados de obra seleccionadas que permita simular dos escenarios definidos con unas variables iniciales, las cuales se modificarán a partir de unas políticas de control permitiendo determinar según los rendimientos calculados cuáles serán los tiempos de finalización de las actividades.

Para cada uno de los escenarios simulados se tiene en cuenta parámetros específicos establecidos a partir del proceso de investigación y análisis de datos; esta herramienta corresponde a la aplicación de la metodología integral y dinámica de la gestión de proyectos

a partir del avance real de los acabados. La implementación de esta metodología cumple con el objetivo de brindar información vital para el control de los tiempos de finalización de los procesos y puede ser usada como base para el desarrollo de futuros presupuestos en nuevos proyectos de similares características, al mismo tiempo sirve como herramienta en la toma de decisiones durante la ejecución de los proyectos.

En el momento que se presenten atrasos durante la ejecución de las actividades aquí analizadas, el modelo brinda información que se relaciona directamente con los tiempos y costos de finalización de los proyectos a partir de la comparación de las políticas de control aplicadas.

INTRODUCCIÓN

Los proyectos de construcción de vivienda NO VIS en Colombia parten de una planeación en donde se desarrollan una serie de actividades que finalizan en la elaboración de un presupuesto y una programación de obra, las cuales cuentan con diferentes fuentes de información como base. En primer lugar, intervienen dentro del proceso de planeación los históricos de obras o proyectos anteriores ejecutados por las empresas constructoras. Partiendo de la premisa que ningún proyecto es igual a otro, se puede evidenciar que en muchas ocasiones las precedencias de las actividades, costos de las materias primas y de la mano de obra pueden ser similares y sirven como una base para desarrollar presupuestos de los nuevos proyectos. En segundo lugar, se cuenta con el conocimiento expertos que han trabajado en proyectos de este tipo, quienes basados en su experiencia profesional estiman y aproximan los tiempos de ejecución de las actividades. Los procesos de planeación, estimación del presupuesto y cronograma, son vitales dentro del desarrollo de un proyecto puesto que permite determinar su viabilidad sobre el papel, arrojando resultados de costos totales, tiempos esperados de ejecución y finalización de actividades e identificar cuáles de estas pueden ser agrupadas dentro de la programación general de obra según sus requerimientos de ejecución.

Una vez finalizada la primera etapa de planeación, se procede a iniciar con la ejecución de los proyectos y su respectivo control. Este documento se enfoca principalmente en las

actividades correspondientes al control y seguimiento de obra, partiendo de una base de datos sobre rendimientos reales en dos obras ejecutadas entre los años 2015 y 2017; Los resultados de estudios de rendimientos existentes en la literatura, permiten realizar un análisis comparativo que determine una serie de conclusiones relacionadas con las coincidencias o diferencias que se pueden evidenciar entre los valores propuestos por la literatura y los arrojados en los análisis realizados y presentados dentro de este documento.

Si bien la industria de la construcción cuenta con herramientas computacionales para realizar el control de las obras que correlacionan presupuestos con cronogramas, se pudo identificar que aún se presentan oportunidades de mejora en cuanto a su adaptabilidad a los cambios e imprevistos que se pueden presentar en las obras dentro del contexto de la industria en Colombia.

Es importante tener en cuenta que este caso de estudio analizará únicamente actividades relacionadas con la construcción de vivienda No VIS, con estándares directamente relacionados al estrato 3 urbano, enfocado en los rendimientos, calidades y tipos de materiales dentro del capítulo de acabados.

TÍTULO

“Modelo de planeación y control dinámico de tiempos en acabados de obra para el sector de la construcción de viviendas en Colombia”.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se expone la problemática de los tiempos reales de finalización de actividades y los diferentes rendimientos de los contratistas de acabados en obras, partiendo de los tiempos de operación en función de las horas hombre trabajadas.

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La construcción de vivienda corresponde a un sector económico que cuenta con una amplia referencia en cuanto a bases de datos históricos tanto públicas como comerciales, las cuales

describen una serie de registros sobre los rendimientos en las actividades, sus costos y demás aspectos relacionados con el desarrollo de obras. Sin embargo, en una evaluación preliminar de las dos compañías relacionadas en este estudio, se pudo identificar que estas bases de datos no son consultadas por las personas que desarrollan los procesos de planeación. Una de las razones principales para no tomar como punto de partida estos registros históricos, corresponde a la percepción de diferencias entre los valores reales comparados con los registrados, lo cual genera un alto grado de desconfianza entre las personas que desarrollan los cronogramas. Por esta razón que la planeación de los cronogramas de obra se hace de forma empírica basándose en experiencias de obras previas, conocimientos del ingeniero encargado de esta actividad y algunos históricos registrados por la misma empresa.

Al momento de ejecutar las obras, estas no se ajustan estrictamente al programa diseñado inicialmente debido a una serie de imprevistos, retrasos y demoras que generan un incumplimiento en el desarrollo de las actividades planteadas.

Una vez se está en obra y conforme se van desarrollando las actividades, una de las variables principales para determinar por parte de los ingenieros o las personas que lleven el control de obra son los rendimientos, estos se deben calcular no sólo en cuanto el avance de las actividades sino que adicionalmente deben estar relacionados con la cantidad de horas hombre que fueron empleadas para ejecutar este avance; actualmente las empresas constructoras y de interventoría cuenta con un control periódico de avance de obra, sin embargo para los dos proyectos consultados en el desarrollo de este documento, esta información no es debidamente cuantificada y relacionada con los cronogramas de ejecución de obras, lo cual permitiría determinar cuáles modificaciones se deben realizar en los tiempos de ejecución de las actividades críticas, con el fin de mantener los tiempos de entrega y finalización inicialmente definidos.

Realizar este ejercicio permitiría determinar cuál será el tiempo real de entrega y finalización de las actividades, permitiéndole a las empresas contar con la información de avances de obra en tiempo real, lo que les influye directamente en los procesos administrativos de toma de decisiones sobre medidas de ajuste o correctivos necesarios que eviten los retrasos de entrega final de las actividades. (BOTERO, 2002)

Todo control, análisis y toma de decisiones debe estar fundamentado a partir de las precedencias que tienen cada una de las actividades estudiadas y los compromisos económicos o contractuales pactados por la empresa con los contratistas y clientes.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son los valores reales de rendimiento promedio en la ejecución de acabados de construcción en Colombia y cómo se pueden utilizar estos valores para la elaboración de una programación y un control de tiempos de finalización de actividades en obra?

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar un modelo de planeación y control de acabados en obras civiles mediante la aplicación de Dinámica de Sistemas y Gestión de Proyectos, partiendo de las curvas de rendimiento promedio de los oficiales de obra vinculados al sector de la construcción de vivienda No VIS en Colombia, teniendo como fuente el análisis de datos obtenidos dos obras ubicadas en municipios aledaños a la ciudad de Bogotá, con el fin de mejorar los plazos de entrega e identificar diferentes modos de operación del sistema.

Objetivos Específicos

- Realizar un análisis estadístico de los datos recolectados con el fin de establecer valores específicos de las variables controlables iniciales del sistema.
- Identificar patrones de rendimiento en las actividades de acabados observadas en las dos obras, las cuales servirán como variables aleatorias que influyen en el comportamiento del sistema modelado.
- Generar un modelo aplicable a la ejecución de actividades de acabados de obra en proyecto No VIS basado en la metodología integral y dinámica para la estimación del tiempo real de finalización del proyecto, teniendo en cuenta los rendimientos obtenidos mediante la observación de dos proyectos específicos.

- Probar una estrategia de control basado en las restricciones propias del sistema, donde se determinan los diferentes tiempos de ejecución de las actividades de acabados de obra a partir de la simulación de dos escenarios producto del cambio de modo.

METODOLOGÍA

Con el fin de desarrollar los objetivos mencionados anteriormente, se deben seguir los pasos descritos a continuación:

- Recopilación de información bibliográfica sobre simulación computacional, análisis estadístico multivariable (Estadística descriptiva 2008, Universidad de Barcelona 2019), factores que influyen el rendimiento en obras civiles (observación y entrevista a expertos)
- Búsqueda de resultados en publicaciones nacionales y otros estudios locales con el fin de identificar causalidades en las diferencias que se presenten. (Revista Construdata 2015-2019, Universidad EAFIT 2002, Universidad Nacional 2015)
- Análisis de la información recopilada por la interventoría y dirección de obra de los proyectos, como fuente para determinar el rendimiento real en dos obras ubicadas en zonas circundantes a Bogotá.
- Determinación de estándares de rendimiento para actividades específicas de acabados de obra, mediante procesos de análisis y obtención de datos en los Software computacionales SAS y EXCEL. Este proceso de análisis de datos se realiza con el fin de estimar un valor de horas hombre dedicadas a cada actividad.

Estadística descriptiva e inductiva adicional.

- Realizar un análisis Bi-variado (Horas trabajadas por semana y rendimiento semanal) que determine la correlación entre dos grupos de datos con el fin de poder generar un modelo de predicción de finalización de actividades en tiempo real partiendo de unos estadísticos de rendimiento específicos para cada uno de los contratistas observados.

- Identificar y determinar una correlación entre los datos obtenidos con los dos proyectos estudiados que permita inferir algunas consideraciones, restricciones, imprevistos y contingencias que se deben incluir en el modelo.
- Determinar un nivel de significancia estadístico de ambos proyectos con el fin de cuantificar la fuerza de relación entre ellos (en caso de que la correlación sea positiva).
- Definir la función determinística que describe el comportamiento de los datos (función que gobierna el modelo inicial) partiendo de la información obtenida y analizada.

Identificación de patrones en el rendimiento de actividades en las obras civiles de vivienda a nivel local

- Entrevista personal: realizar entrevistas con 3 expertos (directores de obra de ambos proyectos e interventores) con el fin de poder identificar algunas consideraciones en los modelos que no se pueden determinar mediante la observación; así mismo validar la racionalidad de la hipótesis.
- Documentación del comportamiento del sistema relacionado con los reprocesos y restricciones, identificados bajo observación del autor del documento, los cuales contribuyen en el desarrollo de los modelos de simulación de comportamiento de las actividades de acabado en obra.

Simulación de la metodología integral y dinámica aplicada a la programación y control de actividades de acabados.

- Descripción y diagnóstico del proceso de actividades de acabados en obras civiles con el fin de establecer las fuentes de información que alimentarán el modelo, tanto las variables controlables, aleatorias y de respuesta.
- Identificar las relaciones entre las actividades observadas, donde se determinará su nivel de incidencia entre ellas, recursos (mano de obra) y precedencias.
- Identificar las variables no controlables que pueden afectar directamente el desarrollo de las actividades de acabados; adicional mediante una distribución de probabilidad dada, estimar la probabilidad de ocurrencia de un evento adscrito a las variables no controlables definidas.

- Simular un modelo básico que incluya los parámetros de entrada y salida del sistema que permitan optimizar los procesos de planeación y control de obras civiles con diferentes escenarios teniendo en cuenta los rendimientos reales de obra obtenidos y la influencia de las variables no controlables en cada uno de los casos.
- Probar el modelo teniendo en cuenta las restricciones definidas para el sistema con el fin de poder describir los resultados en materia de tiempos de finalización de actividades de acabados de obra en proyectos con características específicas.
- Exponer las conclusiones encontradas durante el desarrollo del proyecto, al igual que presentar los modelos utilizados para el desarrollo de las simulaciones.

JUSTIFICACIÓN

La construcción en Colombia involucra una gran cantidad de actividades, tareas, procesos y procedimientos que varían según las condiciones climáticas de la zona de ejecución, condiciones socioeconómicas, políticas y condiciones geográficas que dificultan el desplazamiento del personal, materiales y equipos.

Dentro de los procesos de planeación y programación de las obras se determinan unos tiempos para cada una de las actividades basados en el conocimiento y las experiencias de las constructoras. Esto se debe que dentro de la literatura académica, los registros históricos públicos de consulta, y entre los mismos expertos en el tema de programación de obra no existe una claridad específica entre los tiempos estándar a utilizar y muchas veces la información con la que se cuenta a la mano carece de credibilidad debido a las grandes diferencias que se encuentran entre los diferentes autores y las fuentes de información existentes. (LOPEZ, 2015)

Una vez iniciada la ejecución de las obras, el proceso de seguimiento y control revela que estos tiempos no son constantes a lo largo del proyecto y en muchos casos no son consecuentes con los establecidos en la programación inicial, generando una serie de problemas tanto en la toma de decisiones gerenciales y operativas como en la ejecución del presupuesto, lo cual resulta en retrasos y sobrecostos no monitoreados o controlados.

Con este proyecto se busca establecer un primer marco de referencia en el cual se defina un modelo de planeación y control de actividades de acabados en proyectos de vivienda no VIS en Colombia, específicamente se desarrolló un estudio en zonas urbanas con el fin de poder generar una estandarización de los procesos.

El modelo se alimentará inicialmente con un registro del control de las actividades desarrolladas en dos proyectos de vivienda, en donde se documentarán los tiempos requeridos en la ejecución de cada una de las actividades, así como la cantidad de horas hombre. En el caso que se requiera se tendrá en cuenta la cantidad de material utilizado relacionado con un acabado estándar dentro de todas las mediciones realizadas.

Una vez digitalizada la información, el modelo realizará predicciones de ejecución y finalización de las actividades en tiempo real, mediante la aplicación de la metodología integral y dinámica a la programación de actividades de acabados de obra, teniendo en cuenta las variables identificadas que pueden afectar los tiempos de ejecución del proyecto.

ALCANCE DEL PROYECTO

Este proyecto busca identificar dos variables controlables, tres variables aleatorias y una variable de respuesta, así como determinar en qué medida estas variables permiten describir el comportamiento y los cambios de los rendimientos en actividades de acabados de obra en los proyectos de construcción de vivienda NO VIS para los dos proyectos objetos de estudio. Inicialmente se realiza una recolección de datos en dos proyectos de construcción de vivienda ubicados en municipios de la periferia de Bogotá durante un periodo de 76 a 85 semanas. Se realizará un estudio de los rendimientos para siete (7) actividades específicas relacionadas con acabados en ambas obras y se compararán los datos estadísticamente con el fin de determinar conclusiones específicas sobre los grupos de datos obteniendo un estimado real en los tiempos de ejecución y rendimientos de los contratistas involucrados. Se define una (1) estrategia de control para las actividades de acabados observada. Como variables aleatorias se incluyen las Variables Ambientales (fuente matriz de aspectos ambientales teórica), Variables de Clima (fuente referencia bibliográfica) y los Reprocesos (Fuente entrevistas con expertos y experiencia del autor). Por último, se desarrolla un modelo de

simulación experimental que estime en tiempo real de finalización de las actividades bajo dos (2) diferentes parámetros de operación (modos), mediante la variación de unas políticas de control definidas, esto servirá como herramienta de información gerencial al acoplarse a las características específicas de cada contratista en cuanto al número de trabajadores, cantidad de horas hombre empleadas, y rendimiento en la ejecución de actividades. Se presenta los resultados de las simulaciones obtenidas mas no se lleva un proceso de implementación en campo.

ANTECEDENTES

En el desarrollo de todo tipo de proyectos de investigación, de construcción, de desarrollo, civiles, sociales, etc., se encuentran dentro de sus etapas iniciales los procesos de planeación. En la actualidad los innumerables adelantos tecnológicos les han brindado a los profesionales una gran cantidad de herramientas y técnicas para realizar los procesos de control durante la ejecución de sus proyectos, sin embargo, estas personas difieren en una unificación de términos, técnicas y estándares de control al momento de evaluar el rendimiento de una obra civil en cada una de sus actividades descritas en los cronogramas iniciales. El ejercicio de una buena planeación es uno de los factores claves de éxito dentro de los proyectos, puesto que define las metas, los tiempos, presupuesto económico y de recursos con los que se debe contar durante cada una de las etapas de duración del mismo, sin embargo existen ocasiones en las cuales los ingenieros o las personas que se encargan de dicha planeación empiezan a desarrollar sus actividades de forma empírica y homogenizan los proyectos sin tener en cuenta que aunque pueden ser similares en su forma, durante el desarrollo se pueden presentar inconvenientes, demoras e imprevistos que hacen que la dinámica de un proyecto sea distinta de la de los demás. (SAAD B.S AHAMAD, 2015)

La ingeniería dentro de los procesos administrativos ha estado en la constante búsqueda de una respuesta en cuanto a cuales son los métodos de control y de construcción más adecuados, sin embargo en la práctica está claro que cada director de obra controla su proyecto según su propia experiencia académica y profesional; lo anterior en muchos casos no compromete en ninguna forma el éxito del proyecto, pero si evidencia la importancia de

encontrar un método mucho más eficiente y eficaz de realizar un control de obras basado en una planeación de la programación real para cada proyecto.

En los últimos 15 años, se ha evidenciado un interés constante por el desarrollo de manuales, investigaciones y estudios que buscan describir cuales son los principales factores que intervienen y alteran en alguna forma los tiempos de ejecución de las actividades de construcción de vivienda; así mismo una vez se identificó la problemática objetivo en este trabajo, se descubrió que ya había sido de interés para otros ingenieros a nivel nacional, lo cual en cierta forma demuestra que si existe una necesidad por estandarizar los tiempos de ejecución de las actividades en obra, permitiendo la realización de presupuestos y programaciones más precisas dentro de la etapa de planeación, disminuyendo el sobre costo de dinero y tiempo que se presenta recurrentemente en este tipo de proyectos civiles. (BOTERO, 2002).

En cuanto a las herramientas computacionales que pueden ser utilizadas en el control de obra, existen en el mercado algunos programas comercialmente conocidos como MS Project, Construdata Software, o hasta el mismo Excel, los cuales permiten llevar un control de obras aceptable dentro de la industria, sin embargo se presentan inconvenientes en cuanto a su limitada flexibilidad a los cambios cotidianos en los proyectos o los elevados costos de licenciamiento, por lo cual en obras pequeñas o medianas no son muy atractivos para su uso. En el caso de Excel, esta herramienta no es utilizada en su máximo potencial, lo cual lleva al desarrollo controles básicos que en ultimas no genera una información adicional que permita mejorar la toma de decisiones gerenciales en los proyectos de obras civiles de vivienda en Colombia.

Comúnmente dentro de la literatura especializada en el sector de la construcción se encuentra información de rendimientos relacionada con el costo de la mano de obra para lo cual se hace una valoración económica partiendo de los salarios de los oficiales y ayudantes que intervienen en el proceso de ejecución de la actividad. Es importante resaltar que es no es posible cuantificar y generalizar el aporte puntual de las actividades gerenciales y de supervisión en cada una de las actividades relacionadas como acabados de obra, por lo tanto,

para el análisis de rendimiento no son tenidos en cuenta. (REVISTA CONSTRUDATA, 2013)

MARCO TEÓRICO

Al igual que sucede con el desarrollo de un producto o un negocio, en los Proyectos de construcción de vivienda los procesos administrativos corresponden a una parte vital dentro de todo el ciclo de vida del proyecto.

Es importante resaltar que en la actualidad algunos gerentes de proyectos desarrollan el proceso de planeación para obras civiles basados únicamente en el presupuesto, y dedican poco tiempo al desarrollo de un cronograma general en el cual se tenga en cuenta tiempos reales de ejecución de las actividades, ya sea basado en su experiencia o históricos previamente consultados, esto nos lleva a obtener un cronograma muy general el cual no presenta un detalle y una especificidad tal que permita llevar un control detallado sobre los avances de obra posteriores, afectando temas de contratación de contratistas, modificando precedencias, tiempos de entrega y por último el presupuesto; he ahí donde en muchos casos se comete el error de no ver la importancia de generar un plan de trabajo detallado para cada una de las etapas del proceso constructivo, puesto que aunque se tenga un control estricto sobre los gastos del proyecto a lo largo de su vida, el no tener una información real de los avances terminará haciendo improbable que los objetivos del proyecto sean alcanzados dentro del tiempo requerido y el presupuesto planeado.

La teoría de la ejecución de los proyectos de ingeniería inicia con un plan por medio del cual, el equipo de trabajo reconoce el alcance, sus objetivos, las fechas específicas en las cuales se deben lograr cada uno de esos objetivos, estima los recursos que se van a emplear y define las responsabilidades de cada uno de los involucrados dentro de cada una de las etapas que acompañan el desarrollo de un proyecto a lo largo de su vida.

El desarrollo de una buena planeación es clave al momento de administrar y controlar el proyecto, puesto que le permite comparar en un momento específico el avance del mismo frente a las metas inicialmente definidas, por lo tanto, realizar un acertado ejercicio en el

diseño del plan inicial se traduce en una buena o mala referencia de comparación para el futuro.

Un aspecto importante a resaltar es que durante el proceso de ejecución del proyecto es prácticamente imposible que este se encuentre alineado en un 100% a lo proyectado en el plan inicialmente definido. Lo anterior ocurre debido a una gran cantidad de imprevistos, que pueden ser tenidos en cuenta como contingencias u holguras dentro del proceso de planeación, pero aun así modificarán los planes ya definidos debido a su incertidumbre en frecuencia o magnitud de los eventos; sin embargo esto no es una razón para eliminar el proceso de planeación como una referencia de comparación, puesto que no solo el realizar una buena planeación de proyectos nos ayuda a evaluar el cómo vamos, sino que también permite a los involucrados adquirir un panorama general del proyecto. (P.LEWIS, 2001)

El proceso de planeación se inicia con la recolección de la información disponible, esta se analiza y depura conforme el desarrollo del plan lo requiera, puesto que más adelante se evidencia que en ocasiones la información obtenida no es necesaria en su totalidad, o cuenta con errores los cuales es importante identificar para acercar un poco más a la realidad las proyecciones planteadas. Dentro del ciclo de planeación se definen una serie de pasos los cuales varían en nombre y número según los autores y conocedores del tema, sin embargo dentro de las referencias consultadas, el ciclo de planeación se desglosa en 8 pasos los cuales son: Identificar los objetivos, recopilar los requisitos, definir el alcance, establecer la organización, identificar las actividades, desarrollar el cronograma, estimar los recursos, identificar los riesgos, integrar el plan. (N, 2015)

En relación con este trabajo en particular, se busca generar herramientas y un análisis sobre algunas variables que intervienen directamente en 3 de los 8 pasos mencionados anteriormente, los cuales se definen a continuación:

- ✓ Desarrollar el cronograma: este proceso consiste en analizar el orden de las actividades a ejecutar, teniendo en cuenta su duración, precedencias, restricciones y contingencias o tolerancias predeterminadas con el fin de poder definir y documentar los tiempos de inicio y finalización de actividades. Es en este paso donde se debe tener en consideración tiempos reales de ejecución de las actividades definidas, de

esta forma el programa presentado se ajustará mejor a la realidad al momento de la ejecución.

- ✓ Estimación de los recursos: Aunque muchos recursos son asociados de forma monetaria, actualmente es muy sencillo traducir tiempo y esfuerzo a las mismas unidades económicas, por tal razón, al final de un análisis de estimación de costos se debe incluir no solo el dinero que se espera invertir, también se debe tener estimar el número de trabajadores óptimo para ejecutar cada una de las actividades que garanticen los tiempos de finalización definidos en el cronograma. En otras palabras, aunque la mano de obra definida en unidades de hora hombre empleadas se pueden traducir a unidades monetarias, al momento de una planeación exitosa es importante lograr diferenciar estas variables, lo que permitirá desarrollar un mejor control a futuro durante la etapa de ejecución.
- ✓ Identificar riesgos: Este paso tiene como resultado identificar y documentar los riesgos que pueden afectar al proyecto, en muchas ocasiones estos pueden ser mitigados o evitados, pero para esto se debe generar un plan que este directamente relacionado con la línea base del proyecto y deben ser actualizados durante la ejecución del mismo. Aunque existen una gran cantidad de riesgos relacionados con aspectos naturales, físicos, ambientales, socio- político, este documento se basara en identificar algunos factores generales que afectan el rendimiento de los proyectos de construcción en cuanto a temas de tipos de actividad ejecutada, contratistas, temporada del año, entre otras.

En los proyectos de construcción tradicionales se pueden agrupar las actividades en tres grandes grupos, los cuales comúnmente en la industria son denominados como actividades de estructura, obra negra, obra gris y acabados (algunas veces conocido como obra blanca). Para interés de este trabajo se define como acabados de obra a todas aquellas actividades donde se aplican o instalan los materiales que se colocan sobre las superficies resultados de la obra negra y obra gris, según sea el caso, con el fin de mejorar las condiciones de habitabilidad de los espacios en los cuales se desarrolla la actividad.

En este trabajo se realizará un estudio enfocado en las siguientes actividades de acabados, los cuales estaban definidas predeterminadamente en las obras analizadas:

Pintura: Esta actividad corresponde a la aplicación de tres (3) manos de pintura sobre una superficie previamente preparada bajo la aplicación de un estuco.

Cielo raso: Específicamente para las obras estudiadas, corresponde a la instalación de estructura en aluminio y láminas de Superboard en techos de baños y cocina, con el fin de ocultar a la vista las instalaciones hidrosanitarias.

Enchape: Instalación de tabletas cerámicas en paredes y pisos de baños y cocina, según diseño arquitectónico de los mismos.

Carpintería madera: Instalación de muebles de closet, muebles de baño, marcos y puertas de circulación para las habitaciones.

Ventanería: Instalación de ventanas interiores y exteriores con marco en aluminio aseguradas mecánicamente a la estructura en concreto.

Mesones cocina: Instalación, pulido y remate de mesones en granito para muebles de cocina y baños.

Aseo: corresponde a tres (3) manos de aseo por cada apartamento, las cuales se distribuyen en una actividad predeterminada específica global. Primera mano se inicia una vez terminado el proceso de afinado de pisos y estuco (actividades de obra gris), segunda mano de aseo se realiza una vez se haya terminado la segunda mano de pintura e instalación de ventanería, carpintería en madera, cielo raso y mesones. Por último, la tercera mano de aseo está asociada a la finalización de la tercera mano de pintura.

La productividad, comúnmente relacionada con rendimiento, es un concepto que se encuentra presente con diferentes enfoques según su aplicación, la productividad de un país, de una empresa, de un proyecto, de un empleado entre otras. Sin embargo, para efectos prácticos de este documento se tomará en cuenta la siguiente relación de productividad definida por del avance realizado en función de los recursos utilizados (MENDOZA, 1998):

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Cantidad producida}}{\text{Recursos utilizados}}$$

Ecuación 1. Definición de productividad. (Mendoza, 1998)

La productividad en el sector de la Construcción en cuanto a mano de obra en los últimos años se ha visto afectada por las altas tasas de ausentismo y desocupación laboral, las cuales no es posible definir en este momento su relación directa, pero ha generalizado un sentimiento de frustración en algunos directores de obra que encuentran que sus proyectos no rinden al paso deseado debido que en ocasiones no cuentan con la disponibilidad de la mano de obra en la zona de desarrollo del proyecto, la baja calidad de la misma u otros factores difícilmente controlables como la poca estabilidad laboral en el sector, rotación constante de personal y el ya mencionado ausentismo generalizado, factores que impactan directamente en los rendimientos de una actividad a desarrollar en obra.

La necesidad de incrementar la productividad en las empresas está relacionada directamente con beneficios económicos, aspectos de calidad del producto, optimización de procesos de capacitación, en pro de mantenerse dentro de la competitividad del sector de la construcción. En este aspecto factores como el recurso humano, técnico, calidad de los materiales y estabilidad económica permitirán mejorar la productividad una vez sean definidos bajo unos estándares de calidad específicos comparables a nivel internacional.

La complejidad del sector de la Construcción a nivel mundial se debe al gran número de actores que intervienen dentro de los procesos constructivos, ya sean los clientes, contratistas, consultores, constructores, accionistas y entes gubernamentales que actúan como reguladores dentro de los procesos. Así mismo la informalidad y la baja calidad en la mano de obra que está directamente relacionada con el sector, se traduce en bajos resultados en calidad, rendimiento, reprocesos, sobrecostos, reentrenamientos entre otros males que afectan sensiblemente la productividad de un proyecto. En muchas ocasiones las empresas o los mismos directores de los proyectos no saben cómo gestionar estos factores y no son registrados debidamente para ser tenidos en cuenta como referencia histórica para futuros proyectos, es por esta razón que en proyectos posteriores nuevamente no son tenidos en

cuenta en procesos de planeación y generar grandes distorsiones al momento de realizar los controles de avance en las obras. (IFEDOLAPO, 2015)

La escasez de la mano de obra, una deficiente supervisión, una mala gestión en el sitio de trabajo, un inadecuado liderazgo, una tardía toma de correctivos y la interrupción de los equipos de trabajo o cuadrillas, entre otros factores, afecta directamente los cronogramas generales de obra y contribuyen a bajos niveles de productividad en las mismas

Algunas de las ventajas de mantener una alta productividad dentro de la construcción de edificaciones son (MENDOZA, 1998):

Cumplimiento con los tiempos de entrega

Confianza de clientes y proveedores

Eliminación o disminución de reprocesos por rotación de personal y deficiencias en calidad del producto.

Permanencia en el mercado a corto y mediano plazo.

Optimización de utilización de espacios físicos en obra.

La mano de obra es uno de los componentes claves en la ejecución de proyectos, corresponde a una variable que interviene y afecta directamente la productividad, concepto definido anteriormente en este documento. Dentro de esta definición de mano de obra se presentan dos conceptos que generan confusión entre ingenieros y arquitectos de la construcción en Colombia, hablamos de las definiciones de rendimiento y consumo, las cuales se precisan a continuación:

Rendimiento de 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 por unidad de recurso humano, normalmente expresada como um/hH (unidad de medida de la actividad por hora Hombre).

Consumo de mano de obra: Se define como la cantidad de recurso humano en horas-Hombre, que se emplea por una cuadrilla compuesta por uno o varios operarios de diferente especialidad, para ejecutar completamente la cantidad unitaria de alguna actividad. El consumo de mano de obra se expresa normalmente en hH / um (horas – Hombre por unidad de medida) y corresponde al inverso matemático del rendimiento de mano de obra.” (BOTERO, 2002)

Para el cumplimiento de los objetivos y en favor de mantener un estricto control sobre lo que sucede en los proyectos se desarrolló el proceso de seguimiento y control relacionado con la administración y gerencia de proyectos. El término seguimiento hace referencia a la obtención y el análisis de la información obtenida en tiempo real o reciente sobre el desempeño que se ha tenido en las actividades de interés hasta el momento de realizar el control; se utiliza como base de referencia y comparación los documentos e información resultado del proceso de planeación, lo cual permite determinar variaciones con respecto al plan inicial y a su vez abre un panorama futuro sobre el desempeño que va a mostrar el proyecto teniendo en cuenta su estado actual. (N, 2015)

Para realizar un adecuado control es indispensable contar con un sistema estructurado en donde estén perfectamente definidas las actividades que serán sujetas de seguimiento, así mismo su periodicidad debe estar de acuerdo con los lineamientos del proyecto, con el fin de poder identificar a tiempo las áreas problemáticas que requieran la atención del personal administrativo de obra, ya sea residentes, directores o el personal a cargo de la actividad (contratistas).

Las variables comúnmente sujetas a control son tiempo, costo, calidad y avance, pero cabe resaltar que esto depende de las necesidades y características propias de cada proyecto. Existen varios tipos de control los cuales se pueden dividir en: control preliminar, el cual hace referencia a prevenir posibles desviaciones en la ejecución con respecto al plan inicial y definiendo que factores o variables se van a medir, que controlar y el cómo. También se divide en control concurrente, el cual consiste en realizar seguimientos periódicos de las actividades en curso con el fin de verificar que estén dando los resultados esperados y vayan a la par del plan inicial, claramente teniendo en cuenta tolerancias aceptadas dentro de las

posibles diferencias, debido que como ya se mencionó, es altamente improbable que en la ejecución los proyectos se comporten exactamente igual a como se tenía planeado. Por último, encontramos un control de retroalimentación, en el cual se realiza un análisis de resultados finales, cuyos resultados permiten tener elementos en el futuro para tomar decisiones preventivas y diseñar indicadores de desempeño. (P.LEWIS, 2001)

El ejercicio del control en los proyectos tiene como objetivo el analizar, evaluar y actuar sobre los aspectos que influyen en el incumplimiento de los objetivos establecidos, específicamente para el caso en estudio, el incumplimiento en los tiempos de inicio y finalización de las actividades de acabados en obra; esto se logra realizando mediciones periódicas de las variables definidas en el plan, así como estandarización de procedimientos y generación de informes de control, los cuales finalmente corresponden a una herramienta gerencial para la toma de decisiones oportunas.

Al igual que en los procesos de planeación, el control cuenta con un ciclo de gestión el cual involucra las siguientes actividades: diseño del plan, diseño de objetivos y criterios de decisión, identificación de variables de control, medición, evaluación, y retorna nuevamente al diseño del plan, en donde a lo largo del proyecto se pueden generar modificaciones según los resultados obtenidos.

La medición del avance constituye en un componente clave en un adecuado proceso de seguimiento y control, uno de los métodos es denominado unidades completadas, el cual es aplicable a tareas que involucran la producción constante de unidades similares, las cuales son fáciles de medir y requieren individualmente la misma cantidad de trabajo para ser terminadas; el avance para este tipo de unidades se mide con la relación de unidades realizadas en función de las unidades totales por ejecutar. (SERPELL, 2015)

$$\% \text{ Avance} = \frac{\textit{Unidades realizadas}}{\textit{Total unidades por ejecutar}} \times 100$$

Ecuación 2. Cálculo de porcentaje de avance por actividad

Análisis validación de datos

Minería de datos:

El concepto de minería de datos ha sido utilizado desde los años 70, donde estadísticos utilizaban terminologías afines para describir la idea de encontrar similitudes estadísticas en bases de datos con ruido y distorsiones dentro de ellas, hasta llegar en el 2002 a la creación de una gran cantidad de empresas que ofrecen diferentes soluciones para la minería de datos a través de técnicas de observación, análisis y estadística de las bases de datos; su definición difiere puesto es empleada tanto por estadistas como por ingenieros, investigadores y analistas de datos, pero una definición muy relacionada con el desarrollo de este proyecto sería:

“La minería de datos puede definirse como el proceso de extraer conocimiento útil y comprensible, previamente desconocido, a partir de grandes volúmenes de datos. En el ámbito industrial, una de las aplicaciones más interesantes del proceso de minería de datos es el modelado de sistemas.” (GONZALES, 2006)

El procesamiento y almacenamiento de la información cada día representa un menor costo para los investigadores debido a la gran cantidad de opciones disponibles y a su sencillez actual. Alrededor del mundo se generan una gran cantidad de datos diariamente y es importante poder sacar el mayor provecho de los mismos para innumerables investigaciones y proyectos que requieren de unas bases sólidas dentro de sus procesos de planeación, desarrollo y toma de decisiones. (SUAREZ, 2009)

La globalización, las tecnologías de comunicación actuales y la informática han abierto la puerta a una gran cantidad de datos que, gracias a una infraestructura fundamental organizada, permite que la interacción con los datos entre diferentes organizaciones se haga de forma constante, clara y eficiente, mejorando así su confiabilidad, aplicabilidad y utilidad al momento de requerir de información específica según las necesidades de cada usuario.

La búsqueda de información relevante siempre es útil a la administración empresarial: el control de la producción, el análisis de los mercados, el diseño en ingeniería y la exploración

científica, debido que pueden ofrecer las respuestas más apropiadas a las necesidades de información.

La minería de datos es un conjunto de técnicas agrupadas entre las que pueden citarse la estadística, el reconocimiento de patrones, la clasificación y la predicción. El uso de estas técnicas permite determinar patrones de relaciones entre el conjunto de datos analizado. Esta tecnología ha sido de gran ayuda en áreas como la banca, telecomunicaciones, seguros, ciencia, medicina, farmacéutica entre otros y otros. En la actualidad hay un número creciente de organizaciones inmersas en proyectos de Minería de Datos y su tecnología se puede aplicar a cualquier organización que disponga de una gran cantidad de datos y que se plantee hacer el mejor uso de estos para optimizar sus negocios, mejorar un servicio o determinar errores en su producción que conlleven a planes de mitigación de errores.

Existen varias técnicas de recopilación de datos, algunas de estas son utilizadas por las herramientas que usan minería de datos (SUAREZ, 2009):

- ✓ Almacenamiento de datos (Data Warehousing): El almacenamiento de datos se define como un proceso de organización de grandes cantidades de datos de diversos tipos guardados en la organización con el objetivo de facilitar la recuperación de esta con fines analíticos. Este tiene una gran relevancia en los procesos de minería de datos debido que permite recuperar una determinada información de vital interés en el proceso de toma de decisiones.
- ✓ Análisis exploratorio de datos (Exploratory Data Analysis (EDA)): Las técnicas de análisis exploratorio de datos juegan un papel muy importante en la minería de datos. Las mismas tienen como objetivo determinar las relaciones entre las variables cuando no hay o no está totalmente definida la naturaleza de estas relaciones. Las técnicas exploratorias tienen un fuerte componente computacional abarcando desde los métodos estadísticos simples a los más avanzados como las técnicas de exploración de multivariadas diseñadas para identificar patrones en conjunto de datos con más de dos variables influyentes.

Estadística descriptiva

Como en todas las ciencias, siempre se presenta una gran cantidad de definiciones que en efecto explican los mismos conceptos pero con enfoques diferentes según la aplicabilidad y los perfiles profesionales de los autores, sin embargo para este proyecto parte de la definición del Estadista William Mendenhall “la estadística es un área de la ciencia que se ocupa del diseño de experimentos o procedimientos de muestreo, del análisis de datos y de realizar inferencias acerca de una población de mediciones a partir de la información contenida en una muestra”.

Dentro de las tres ramas de la estadística (descriptiva, probabilidad e inductiva), se enfoca en la estadística descriptiva definida como: La parte de la estadística que se ocupa solamente de describir y analizar un conjunto de datos.

La estadística descriptiva a su vez incluye la tabulación, representación y descripción de una serie de datos que pueden ser cuantitativos o cualitativos, sirviendo como herramienta para describir o resumir las propiedades de un conglomerado de datos y así facilitar su uso. (MONROY, 2008)

Distribución normal (Normalidad de los valores):

Esta distribución continua corresponde a la más importante en todo el campo de la estadística, esta describe de forma aproximada muchos fenómenos que ocurren en la naturaleza, la industria y la investigación. Muchas variables aleatorias tienen distribuciones de probabilidad que se pueden describir de forma adecuada mediante la curva normal, teniendo en cuenta sus valores de media y desviación estándar conocidos. (MYERS, 2012).

Pruebas de Bondad y Ajuste:

Dentro de la ingeniería actual, a menudo los problemas que se presentan dentro de la investigación no se relacionan en gran medida a la estimación de los parámetros de la población, sino a la generación o descripción de unos procedimientos que permitan describir el comportamiento de los sistemas. La prueba de bondad y ajuste permite determinar si una población tiene una distribución teórica específica, esta se basa en el nivel de ajuste que existe

entre la frecuencia de ocurrencia de un evento observado en una muestra y las frecuencias esperadas obtenidas a partir de una distribución hipotética. (MYERS, 2012)

Definición de la estructura de desglose del trabajo (WBS)

Dentro de la Gerencia de Proyectos, es importante subdividir las tareas, actividades y entregables con el fin de obtener componentes más pequeños y manejables. La WBS organiza y define el alcance total del proyecto, por lo tanto, se deben incluir todas las actividades a ejecutar. Su objetivo principal es el de organizar de forma lógica y estructurada las actividades, permitiendo una fácil identificación y control de las mismas. (PACHECO, 2017)

Metodología integral y dinámica aplicada a la programación y control de proyectos.

La administración de Proyectos es actividad que actualmente representa una gran cantidad de recursos y herramientas que le permiten obtener el mejor rendimiento posible para los recursos utilizados, como el caso de la mano de obra, el capital, equipo, materiales y tiempo.

Como una alternativa a la programación de proyectos se encuentran los modelos o representaciones gráficas y numéricas, diseñados con el propósito de facilitar la gestión administrativa de los proyectos, consiguiendo desarrollar estos en las mejores condiciones posibles, incorporando una gran cantidad de variables controlables y no controlables las cuyo número y características están directamente asociadas con la complejidad de las actividades desarrolladas.

Dentro de la programación y control de proyectos se encuentra dos métodos comúnmente utilizados (CPM y PERT), los cuales corresponden a un método gráfico de representación de proyectos que emplea el modelamiento de redes, las cuales le brindan al administrador una panorámica general del proyecto, permitiéndole realizar reasignaciones de recursos y modificaciones en la programación a medida que se va desarrollando las actividades. Ambos métodos utilizan redes y nodos para describir el sistema estudiado, sin embargo, su diferencia radica que el método PERT corresponde a un análisis estocástico donde la estimación de las actividades está dada por una distribución de probabilidad que describe el comportamiento de las variables que afectan la duración y ejecución de las actividades. (MODESTO, 2010)

Todo proyecto que utilice la metodología CPM-PERT se desarrolla mediante tres (3) etapas:

Planeación: comprende la identificación de las diferentes características propias de cada proyecto, como por ejemplo las fechas de inicio, fechas de entrega, actividades a ejecutar, recursos disponibles, métodos de financiación; en términos genéricos el proceso de planeación corresponde a generar una visión de conjunto de la obra a realizar.

Programación: una vez los proyectos se encuentren relacionados con el factor Tiempo, la determinación de la duración de las actividades que lo componen junto con el cálculo de finalización de las mismas corresponden a la etapa de programación.

Control: En esta última etapa se recoge toda la información sobre los avances de obra y se comparan con la programación, con el fin de poder realizar las modificaciones requeridas a la programación para poder cumplir con los objetivos de tiempo y/o inversión según sea el caso.

Variables No Controlables

Dentro del modelo a desarrollar, se incluye la incertidumbre generada por tres (3) variables las cuales se consideran no controlables debido su naturaleza. Estos factores están relacionados con aspectos de ambientales, el clima o procesos técnicos que afectan la ejecución de las actividades de acabados de obra observadas.

A continuación, se describen y cuantifican cada una de las variables no controlables que intervienen en el modelo final:

Aspectos Ambientales: Esta variable se origina como resultado de la identificación, evaluación y registro de todos los factores que pueden impactar ambientalmente el entorno sobre el cual intervienen las actividades desarrolladas por los procesos constructivos, específicamente para este proyecto se tienen en cuenta los aspectos ambientales relacionados directamente con las actividades de acabados de obra. La cuantificación del impacto ambiental está dada por los siguientes parámetros: Carácter, Magnitud, Intensidad, Frecuencia y Extensión los cuales son cuantificados y relacionados con el fin de poder obtener un valor de impacto de la actividad asociada.

El desarrollo de esta Matriz de Impacto Ambiental es un requisito legal dentro de todos los proyectos Civiles que se desarrollen en el territorio colombiano (Resolución 541 de 1994 del Ministerio del Medio Ambiente/ Decreto Nacional 948 de 1995/ Resolución 627 de 2008 del Ministerio de Ambiente), los valores obtenidos y registrados en la matriz son independientes entre los proyectos teniendo en cuenta las características propias de cada uno, por lo tanto deben ser definidos por la organización que ejecuta el proyecto y son de uso generalizado a nivel nacional, es por esta razón que para la realización de este documento se toma como fuente de referencia un modelo de matriz de aspectos e impactos ambientales de libre acceso utilizado por una entidad gubernamental (el ICBF) en proyectos de Obra, Construcción, Adecuación, Remodelación y Mantenimiento de Infraestructura de la Dirección Administrativa.

Clima: Esta variable se fundamenta directamente en la influencia que ejercen las condiciones climáticas de la zona de ejecución de las actividades, en cuyo caso los efectos de cada una de los eventos climáticos considerados se relacionan con retrasos o demoras en la ejecución de las actividades. Cabe resaltar que al igual que la variable de Aspectos Ambientales, los valores contemplados para la Variable Clima son propios de la zona donde se desarrollaron los proyectos observados la cual corresponde a la Sabana de Bogotá.

Los eventos climáticos considerados son:

| | |
|-----------------|------------------------|
| Sol | Lluvia |
| Vientos fuertes | Aguacero/inundaciones. |

Reprocesos: Esta variable determina la influencia en las actividades de acabados teniendo en cuenta la necesidad de realizar reprocesos relacionados con la calidad y terminación de las actividades observadas. Es nivel de calidad en las actividades de acabado de obra estudiadas está relacionado con el tipo de vivienda, estrato y proceso constructivo. Las situaciones que son consideradas se describen a continuación:

Ninguna: No se realizan reprocesos en la actividad

Menores: Los reprocesos corresponden a terminados en pequeña escala y no afectan significativamente la calidad de entrega de la actividad, por lo tanto, no interfieren en gran medida con el rendimiento del trabajador.

Parciales: Se debe realizar un reproceso mayor el cual afecta el avance del proyecto en mayor medida que los reprocesos Menores.

Totales: La actividad debe ser repetida parcial o totalmente debido a mala ejecución, cambio en diseños iniciales o calidad inaceptable por parte de los entes de recepción y control de los trabajos realizados.

Probabilidad e impacto de las variables no controlables

Cada una de las variables no controlables descritas anteriormente son evaluadas y cuantificadas de forma independiente en cuanto a su probabilidad de ocurrencia e impacto sobre las actividades de acabados observadas. El efecto corresponde a la proporción de merma en la que se ve afectada la actividad debido a la ocurrencia de la variable no controlable.

Para la estimación de los valores en el caso de la variable Aspectos Ambientales se toma en cuenta la referencia consultada (matriz de riesgos ambientales en la construcción y adecuación de espacios del ICBF). La entrevista con expertos y la experiencia del autor de este documento son la fuente para las variables Clima y Reprocesos (Interventoría proyecto Mirador del Campo MDC y directores de obra de los proyectos observados).

| ACTIVIDAD | ASPECTO AMBIENTAL | IMPACTO AMBIENTAL | PROBABILIDAD | EFECTO (Retraso en la actividad) |
|-----------------|---|----------------------------|--------------|----------------------------------|
| Acabados | No Genera | Ninguno | 0,2 | 0 |
| | Generación de material particulado | Contaminación del aire | 0,2 | 0,05 |
| | Generación de ruido | Contaminación auditiva | 0,3 | 0,05 |
| | Generación de residuos (Sólidos y Líquidos) | Contaminación del suelo | 0,2 | 0,02 |
| | Cambios en el entorno paisajístico | Transformación del paisaje | 0,1 | 0,01 |

Tabla 1. Probabilidad e impacto de Aspectos Ambientales

| EVENTO CLIMATICO | PROBABILIDAD | EFECTO (Retraso en la actividad) |
|-----------------------|--------------|----------------------------------|
| Sol | 0.4 | 0 |
| Viento Fuerte | 0.2 | 0.01 |
| Lluvia | 0.3 | 0.05 |
| Aguacero/inundaciones | 0.1 | 0.1 |

Tabla 2. Probabilidad e impacto de Eventos Climáticos.

| SITUACIONES REPROCESOS | PROBABILIDAD | EFECTO (Retraso en la actividad) |
|------------------------|--------------|----------------------------------|
| Ninguna | 0.7 | 0 |
| Menores | 0.2 | 0.01 |
| Parciales | 0.075 | 0.05 |
| Totales | 0.025 | 0.5 |

Tabla 3. Probabilidad e impacto de Reprocesos

Las tres variables no controlables definidas tienen una distribución uniforme cuya prueba se realizó utilizando el software estadístico SPSS; los resultados de estas pruebas se pueden consultar en el Anexo #2.

OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Toma de datos

Para el desarrollo de este trabajo se tomaron en consideración dos proyectos de vivienda con características similares en cuanto a sistema constructivo, materiales, acabados, tamaño y distribución de espacios, con el fin de poder realizar un análisis comparativo de los diferentes aspectos observados para cada uno de ellos.

Los dos proyectos se encuentran en ubicados en municipios aledaños a la ciudad de Bogotá, con facilidades de acceso a mano de obra, transporte de materiales e insumos, factor clave al momento de analizar los rendimientos de mano de obra en las actividades de interés, debido que los factores externos como el difícil acceso al proyecto no aplicaría para este caso y no deberá ser tenido en cuenta dentro de las simulaciones posteriores.

El primer proyecto Mirador del Campo se encuentra ubicado en el municipio de Tocancipá – Cundinamarca, para el cual se obtuvieron datos correspondientes a 85 semanas entre las fechas del 26 de octubre de 2015 hasta 9 Julio de 2017.

Como segundo proyecto encontramos Tierra Linda, ubicado en el municipio de Facatativá – Cundinamarca, para el cual se obtuvieron datos correspondientes a 76 semanas entre las fechas 01 de enero de 2016 hasta 24 de julio de 2017.



Ilustración 1. Logo Mirador del Campo; Tomado de <http://www.ingenieriasolidaltda.com>



Ilustración 2. Logo Tierra Linda; Tomado de <http://makroconstrucciones.com.co/>

En la tabla #4 se describen las características generales de los proyectos de vivienda observados:

| | |
|---|---|
| Sistema constructivo: | Sistema industrializado de concreto vaciado en formaleta metálica. |
| Dimensión: | Entre 65-68 metros cuadrados |
| Estrato: | 4 rural |
| Número de torres: | 4 Mirador del Campo / 2 Tierra Linda |
| Número de pisos por torre: | 5 Mirador del Campo / 9 Tierra Linda |
| Apartamentos por piso: | 8 |
| Acabados: (únicamente descritos los relacionados con este proyecto) | Pintura a 3 manos, primeras dos manos tipo 2 y tercera mano con calidad pintura tipo 1. |
| | Cielo raso en lámina de Drywall con perfiles estructurales de aluminio. |
| | Enchape en tableta cerámica en áreas de pisos de cocina, cuarto de ropas, baños y ducha. Para muros se instala en cabina de ducha a una altura aproximada de 1.90 metros y salpicadero del mueble de cocina y lavadero. |
| | Carpintería modular prefabricada. |
| | Ventanería en con perfiles de aluminio calibre 18. |
| | Mesones de cocina y baños en granito, prefabricados. |
| | Aseo a tres manos del total del área de los apartamentos. |

Tabla 4. Características generales de los proyectos observados.

En el caso de la productividad, para la toma de datos se tuvo en cuenta los registros de ingreso del personal junto con los controles de avance suministrados por la interventoría de cada uno de los proyectos. Del registro de ingreso a obra se obtuvo el número de trabajadores por cada uno de los días, el tiempo real de permanencia en obra y el total de las horas trabajadas por cada uno de los contratistas de forma semanal, esta información calcular el promedio semanal

que un permanece un trabajador en obra ejecutando actividades. Para este cálculo se tuvieron en cuentas varias consideraciones, basado en la experiencia del autor y las políticas de cada uno de los proyectos en cuanto a los horarios de trabajo y tiempos de descanso. En ambas obras se realizaron los mismos descuentos de tiempo sobre los registrados en las planillas de control de ingreso, los cuales son: 15 min en el horario de la mañana, 1 hora de almuerzo a medio día y 15 minutos en la tarde (tabla # 5- caso 1) , sin embargo estos descuentos solo se realizaron en los casos que los trabajadores ingresaran a obra antes de las 8 am para el caso del descuento de la mañana puesto que se asume que si una persona llega sobre la hora del descanso (tabla # 5 - caso 2), no hace uso de este y se dirige directamente a la ejecución de sus labores; lo mismo sucede con el descanso en los horarios de la tarde (tabla # 5 - caso 3), si las personas se retiran de la antes de las 3:30 pm, se asume que no tomo su descanso por lo tanto este tiempo no se descuenta del cálculo de las horas reales trabajadas tal como se resume en la tabla #5:

| | caso 1 | caso 2 | caso 3 |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| ingreso | 07:00 a.m. | 9:00am | 9:00am |
| salida | 05:00 p.m. | 5:00pm | 5:00pm |
| horas en obra | 10 horas | 9 horas | 9 horas |
| descuento mañana | 0.25 horas | No aplica | 0.25 horas |
| descuento almuerzo | 1 hora | 1 hora | 1 hora |
| descuento tarde | 0.25 horas | 0.25 horas | No aplica |
| horas reales trabajadas | 8.5 horas | 6.75 horas | 6.75 horas |

Tabla 5. Ejemplo cálculo de horas reales 3 escenarios.

En cuanto a los registros de control de obra suministrados por las interventorías de cada uno de los proyectos, se realiza un comparativo semana a semana del avance global de las actividades de interés observadas, con el fin de poder cuantificar el avance en metros cuadrados o lineales de cada una de las actividades en un periodo específico; Aunque los formatos de registro de avance eran diferentes en ambas obras, las actividades de interés para este proyecto se encontraban segmentadas de igual forma en ambos formatos, en otras palabras, se llevó un registro independiente para el avance de Pintura, Instalación de cielo raso, enchape de cocina y baños, Carpintería, ventanería, mesones en granito, y aseo (3 manos).

La siguiente imagen (Figura #3) ilustra un fragmento del cuadro de control semanal que se desarrolló para poder determinar el avance de cada una de las actividades de acabados en obra, en este se incluyen actividades que no son objeto de estudio de este trabajo, pero hacen parte del control que realizaba la interventoría semanalmente:

| ACTIVIDAD/ APTO | TORRE DOS (2) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | PISO 1 | | | | | | | | PISO 2 | | | | | | | | PISO 3 | | | | | | | | | | | |
| | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 201 | 202 | 203 | 204 | 205 | 206 | 207 | 208 | 301 | 302 | 303 | 304 | 305 | 306 | 307 | 308 | | | | |
| Remates de estructura | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| Mampostería en bloque y ladrillo | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| Pañete interior | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| Aplicación de Pañetelista | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| Alistado piso Mampostería | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| Alistado piso Enchape | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| Estuco | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| Pintura 1ra | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| Pintura 2da | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pintura 3ra | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cielos instalación | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | | | | 30 | 40 | 40 | 30 | | | | |
| Cielos cinta y macilla | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | |
| Cielos pintura | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Enchapes Cocina Ropas | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| Enchapes baños | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| Aparatos Sanitarios | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Incrustaciones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grifería | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lavadero | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mueble Lavadero | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Muebles Baños | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Muebles Closet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mueble Cocina | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Ilustración 3. Cuadro de control semanal de avance en obra.

Con los planos arquitectónicos de los apartamentos para ambos proyectos de vivienda, se determinaron las cantidades de obra que se debían ejecutar en cada uno de los apartamentos para cada actividad de interés, estas cantidades se resumen a continuación en la tabla # 6 y tabla # 7:

| MIRADOR DEL CAMPO | | | |
|--------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|
| ACTIVIDADES | UNIDADES | CANTIDAD | EQUIVALENCIA DEL 1% |
| PINTURA | m2 | 68 | 0.68 |
| CIELO | m2 | 2.05 | 0.02 |
| ENCHAPE | m2 | 21.5 | 0.22 |
| CARPINTERIA MADERA | ml | 9.5 | 0.10 |
| VENTANERIA | ml | 9.2 | 0.09 |
| MESONES EN GRANITO | ml | 3.5 | 0.04 |
| ASEO | m2 | 68 | 0.68 |

Tabla 6. Cantidades de obra a ejecutar por apartamento en Mirador del Campo.

| TIERRA LINDA | | | |
|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|
| ACTIVIDADES | UNIDADES | CANTIDAD | EQUIVALENCIA DEL 1% |
| PINTURA | m2 | 65 | 0.65 |
| CIELO | m2 | 2.4 | 0.02 |
| ENCHAPE | m2 | 19.22 | 0.19 |
| CARPINTERIA MADERA | ml | 9 | 0.09 |
| VENTANERIA | ml | 7.03 | 0.07 |
| MESONES EN GRANITO | ml | 4.35 | 0.04 |
| ASEO | m2 | 65 | 0.65 |

Tabla 7. Cantidades de obra a ejecutar por apartamento en Tierra Linda.

La columna “Equivalencia del 1%” indica a cuanto equivale en unidades métricas el avance de 1% en un apartamento, es decir como ejemplo, en un apartamento de Mirador de Campo que en el periodo semanal se avanzó 10% en la actividad aplicación de pintura 1ra mano, en realidad en ese apartamento se ejecutaron 6.8 metros cuadrados de pintura, mientras que en un apartamento de Tierra Linda el mismo porcentaje de avance semanal corresponde a 6.5 metros cuadrados de pintura.

Toda esta información es registrada en una tabla con el siguiente formato:

| PINTURA | | | 0.68 |
|----------------------------------|-----------------------------|--|----------------------------------|
| NUMERO TRABAJADORES EN LA SEMANA | HORAS TRABAJADAS POR SEMANA | HORAS TRABAJADAS POR HOMBRE EN LA SEMANA | TOTAL M2 TRABAJADOS EN LA SEMANA |
| 6 | 248.00 | 41.33 | 306 |
| 8 | 199.50 | 24.94 | 346.8 |
| 6 | 251.00 | 41.83 | 333.2 |
| 8 | 303.50 | 37.94 | 319.6 |
| 8 | 316.50 | 39.56 | 387.6 |
| 11 | 437.00 | 39.73 | 442 |

Tabla 8. Fragmento de cuadro de registro y control de avance de actividades.

El fragmento anterior (tabla #8), corresponde al registro de las 6 primeras semanas para la actividad de Pintura en el Proyecto Mirador del campo. Para ambos proyectos de vivienda se realizó este mismo registro con las actividades objeto de estudio, cabe resalta que no todas las actividades cuentan con el mismo número de datos, teniendo en cuenta que las actividades no iniciaron al mismo tiempo o en algunas ocasiones se presentaron semanas en las cuales no había avance de algunas de estas, principalmente debido que el personal no asistía a obra o se realizaban reprocesos y correcciones que no eran registrados por la interventoría dentro de su control de avance. Teniendo en cuenta que este ausentismo no se deriva de aspectos propios de la ejecución de la actividad y están más relacionados con manejo administrativo de los contratistas, no son tenidos en cuenta para los cálculos de rendimientos.

ANÁLISIS DE DATOS

Una vez documentada y digitalizada toda la información de ingreso de personal y avance de obra semanal, se procede a realizar los análisis de los datos para cada una de las actividades observadas.

Con el fin de poder realizar un correcto análisis de datos, se realizó una prueba de normalidad con el fin de poder garantizar que los datos obtenidos siguen una distribución Normal lo cual permite más adelante desarrollar procedimientos adicionales de análisis como pruebas de homogeneidad, pruebas de bondad de ajuste y correlación de variables.

Mediante el uso del Software estadístico SPSS se realizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov, la cual permite determinar mediante una prueba de hipótesis si los datos obtenidos mediante el proceso de observación para las actividades de acabados de obra siguen una distribución normal; a continuación, se presenta un ejemplo de los resultados obtenidos mediante la prueba de Normalidad realizada.

Resultados prueba de Kolmogórov-Smirnov para la actividad de Pintura:

Ho= Los datos analizados tienen una distribución Normal.

H1= Los datos analizados tienen una distribución diferente a la Normal.

Nivel de Significancia = 5%=0,05

Criterios de análisis:

P<0,05 Rechazo hipótesis nula (Ho), acepto hipótesis del investigador (H1).

```
GET DATA
  /TYPE=XLSX
  /FILE='\\Client\C$\Users\SERGIO\Pruebas SPSS HOMOGENEIDAD\DATOS DE
INGRESO.xlsx'
  /SHEET=name 'Pintura'
  /CELLRANGE=FULL
  /READNAMES=ON
  /DATATYPEMIN PERCENTAGE=95.0
  /HIDDEN IGNORE=YES.
EXECUTE.
DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.
SORT CASES BY PROYECTO.
SPLIT FILE SEPARATE BY PROYECTO.
NPAR TESTS
  /K-S (NORMAL)=TOTALUNIDADESSEMANAPORUN1TRABAJADOR
  /MISSING ANALYSIS.
```


PROYECTO = 1

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMAN A POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|---|
| N | | 85 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 40,8583451881452 00 |
| | Desv. Desviación | 8,01357165357320 5 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,110 |
| | Positivo | ,110 |
| | Negativo | -,046 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,053 ^d |

a. PROYECTO = 1

b. La distribución de prueba es normal.

c. Se calcula a partir de datos.

d. Corrección de significación de Lilliefors.

PROYECTO = 2

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMAN A POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|---|
| N | | 75 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 44,01753915343917 0 |
| | Desv. Desviación | 8,561679080602506 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,087 |
| | Positivo | ,087 |
| | Negativo | -,053 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,200 ^{d,e} |

a. PROYECTO = 2

b. La distribución de prueba es normal.

c. Se calcula a partir de datos.

d. Corrección de significación de Lilliefors.

e. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Los datos fueron segmentados dentro del software con el fin de poder presentar los resultados de manera independiente para cada una de las obras observadas. Proyecto 1 corresponde a los datos de Mirador del Campo, por lo consiguiente Proyecto 2 corresponde a los datos de Tierra Linda.

Como se puede observar en los resultados de la prueba presentada, tanto para el Proyecto 1 y 2, el P-valor (Sig. asintótica(bilateral)) es mayor a 0.05, lo cual permite aceptar la hipótesis nula (H_0) de normalidad la cual describe que: Los datos analizados tienen una distribución Normal.

Este mismo procedimiento se realizó para todas las actividades de acabados de obra analizadas a lo largo de este documento, los resultados que demuestran la normalidad de los datos a partir de esta prueba en las demás actividades se encuentran registrados en el ANEXO 1.

Para el siguiente análisis de datos se utilizó el software SAS (Statistical Analysis System), el cual es un sistema de programas capaces de entregar resultados de diferentes procesos como regresiones, análisis de varianza, estadística básica, entre otros.

Dentro del modelo se cuenta con tres (3) variables independientes las cuales son:

- El número de trabajadores en la semana: Dentro de cada semana se presenta un número distinto de trabajadores, el cual depende de temas administrativos propios del contratista.
- Las horas trabajadas en la semana: En la práctica el horario de todos los trabajadores no es el mismo, por lo tanto, este valor varía de semana a semana según su tiempo de permanencia en obra.
- Total de unidades (m² o metros lineales) trabajados por semana: Corresponde a la totalidad de unidades que se trabajaron en la semana dentro de todo el proyecto, no discrimina en que piso o torre se ejecutó la actividad, puesto que se valora de manera global el proyecto.

Adicionalmente se cuenta con una variable dependiente:

Horas trabajadas por hombre a la semana: Este valor corresponde simplemente a un promedio aritmético entre el total de horas trabajadas en la semana y el número de trabajadores, e indica

independientemente el horario de trabajo de cada empleado, cual es el promedio de horas a la semana que trabajan los empleados de un contratista en particular.

Definidas las variables observadas y registradas, el análisis de los datos permite determinar el comportamiento de estos, identificar datos atípicos, tendencias, valores estadísticos como máximos, mínimos, media, desviaciones estándar y correlaciones entre las variables.

Análisis estadístico actividades de acabados Mirador del Campo

Enchape:

| ANALISIS DE CORRELACIONES MULTIPLE ENCHAPE MIRADOR CAMPO | | | | | | | |
|--|----|---------------------------------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Procedimiento CORR | | | | | | | |
| 4 Variables: | | TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS | | | | | |
| Estadísticos simples | | | | | | | |
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 82 | 2.93902 | 2.32192 | 241.00000 | 1.00000 | 8.00000 | TRABA |
| HORASEM | 82 | 116.01037 | 96.68454 | 9513 | 9.35000 | 355.75000 | HORASEM |
| PROMSEM | 82 | 38.92595 | 10.01125 | 3192 | 9.35000 | 59.50000 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 82 | 210.62659 | 122.40841 | 17271 | 64.07000 | 581.15000 | TOTMETROS |

Tabla 9. Análisis de correlación múltiple Enchape MDC.

Para la totalidad de datos analizados, se encuentra que dentro de las 85 semanas observadas en general en 82 de estas se contó con personal del contratista de enchape en la obra Mirador del campo, alcanzando un máximo de 8 trabajadores en una misma semana, y con un promedio de horas trabajadas por semana por hombre de 38.9 h. Este valor, aunque no es el óptimo, no se puede despreciar en cuanto a su valor real en la industria, teniendo en cuenta que está muy cercano a las 48 horas ideales de trabajo por semana estipuladas legalmente.

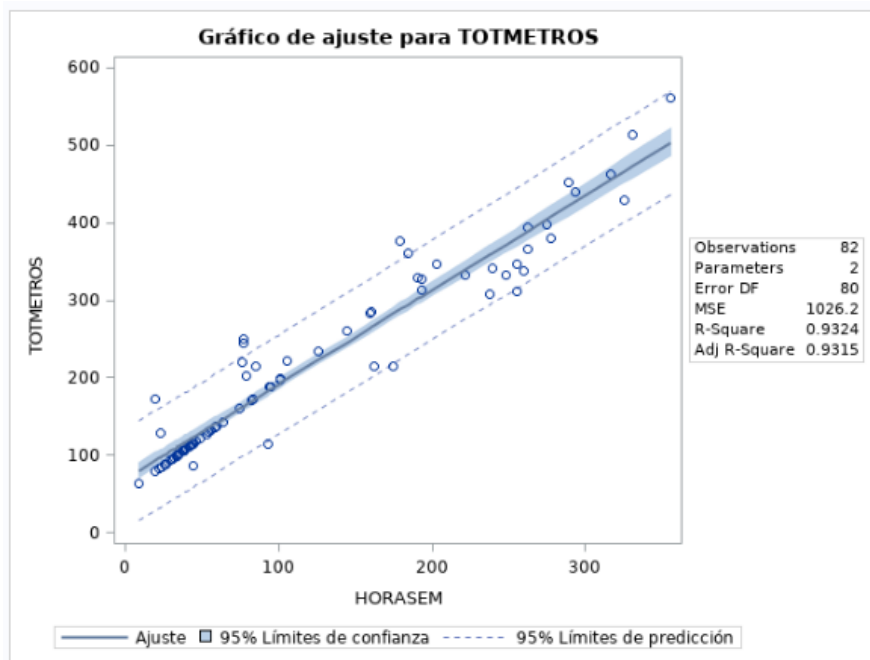


Ilustración 4. Ajuste de tendencia de datos Enchape MDC

La gráfica anterior (figura #4) muestra un comportamiento con tendencia lineal dada por un valor de ajuste RSquare de 0.9324. Adicionalmente se puede identificar que, para similares horas trabajadas a la semana, se ejecutaron un total de metros cuadrados con valores dispersos entre sí, esta variabilidad está dada debido a los reprocesos que se tienen en obra atendiendo a los estándares de calidad, lo que implica que trabajador destine tiempo de avance en ejecutar correcciones a tareas ejecutadas previamente.

Pintura:

ANÁLISIS DE CORRELACIONES MÚLTIPLE PINTURA MIRADOR CAMPO
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 85 | 9.69412 | 3.05904 | 824.00000 | 3.00000 | 16.00000 | TRABA |
| HORASEM | 85 | 368.17647 | 134.66409 | 31295 | 61.00000 | 671.00000 | HORASEM |
| PROMSEM | 85 | 37.53396 | 6.61216 | 3190 | 20.30000 | 58.92857 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 85 | 376.77600 | 75.13097 | 32026 | 115.60000 | 462.40000 | TOTMETROS |

Tabla 10. Análisis de correlación múltiple Pintura MDC.

El personal de pintura ejecutó actividades durante 85 semanas observadas, con un promedio semanal de horas reales trabajadas de 37.5 h, lo cual se puede considerar un rendimiento aceptable partiendo del hecho que los contratistas cuentan con la total potestad sobre el manejo de los horarios de sus trabajadores, lo cual puede representar una buena gestión y manejo por parte del encargado de personal, que facilitó las condiciones para la ejecución de actividades de una forma constante a lo largo de cada una de las semanas.

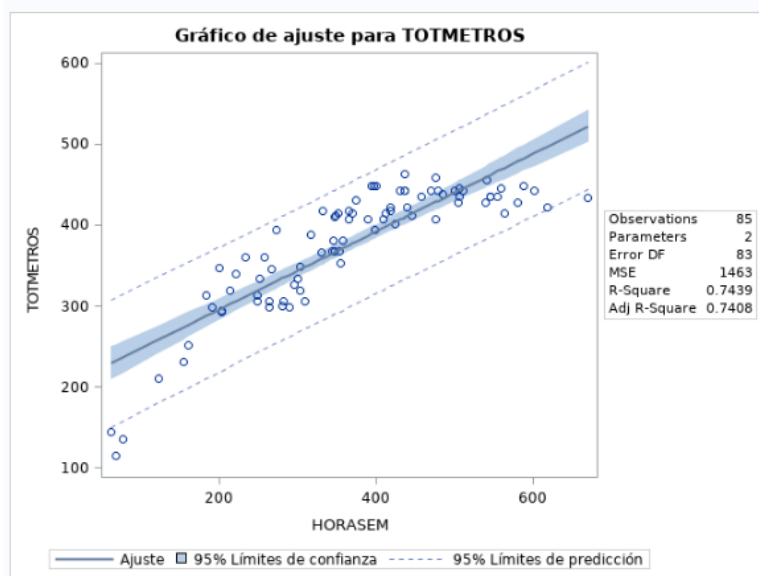


Ilustración 5. Ajuste de tendencia de datos Pintura MDC.

En la gráfica anterior (Figura #5) encontramos datos atípicos dentro de la curva de rendimiento para valores pequeños de horas trabajadas en la semana, esto se debe principalmente a factores motivacionales de los trabajadores, quienes al no asistir constantemente a la obra y solo permanecer un poco tiempo en ella, su rendimiento se ve afectado puesto que interrumpen el proceso de adaptación el cual les permite semana a semana ir mejorando su rendimiento.

Con más horas trabajadas a la semana se normaliza el comportamiento de los rendimientos, como se puede observar gráficamente, aunque los datos muestran una dispersión, estos se tienden a comportarse linealmente con un indicador de RSquare de 0.75; sin embargo, la desviación estándar nos indica que para un mismo número de horas trabajadas a la semana puede presentarse una diferencia de hasta 75 metros cuadrados ejecutados entre dos mediciones. Esto se debe a varias explicaciones, en primer lugar, el nivel de experticia de los

trabajadores, cuya curva de rendimiento individual afecta directamente el rendimiento general del contratista. Las áreas a intervenir también afectan el total de metros ejecutados, debido que áreas abiertas como la sala o cocina, representan menos complicaciones en cuanto a facilidad de acceso, iluminación natural, movimiento de materiales, personal y detalles en general. Por último, el tipo de mano de pintura que se está aplicando, puesto que dentro de la gráfica y la toma de datos no se generó una diferenciación entre la aplicación de primera, segunda o tercera mano, sin embargo, el tema de la dispersión de datos también se puede relacionar con el nivel de complejidad que requiere la aplicación de una tercera mano.

Cielo raso:

ANALISIS DE CORRELACIONES MULTIPLE CIELO MIRADOR CAMPO
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|----------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 71 | 2.66197 | 1.13318 | 189.00000 | 1.00000 | 5.00000 | TRABA |
| HORASEM | 71 | 90.35704 | 45.04240 | 6415 | 8.00000 | 223.50000 | HORASEM |
| PROMSEM | 71 | 33.53415 | 7.58141 | 2381 | 8.00000 | 48.50000 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 71 | 13.61575 | 0.68585 | 966.71850 | 12.30000 | 15.37500 | TOTMETROS |

Tabla 11. Análisis de correlación múltiple Cielo Raso MDC.

Con un total de 71 semanas en las que se ejecutaron actividades de cielo raso, esta actividad para el contratista que trabajó en Mirador del Campo muestra un rendimiento bastante irregular, dentro de estas mediciones se pudieron presentar errores por parte de los observadores quienes no tuvieron en cuenta pequeñas actividades como la preparación, doblado y corte de la perfilería en aluminio, cuyo avance se debe cuantificar de forma muy específica, lo cual se encuentra por fuera del enfoque general de este proyecto de investigación. Así mismo, aunque la asistencia de personal por parte del contratista de cielo raso fue constante a lo largo de las semanas observadas (71/85), los avances varían significativamente según se representa en la siguiente gráfica.

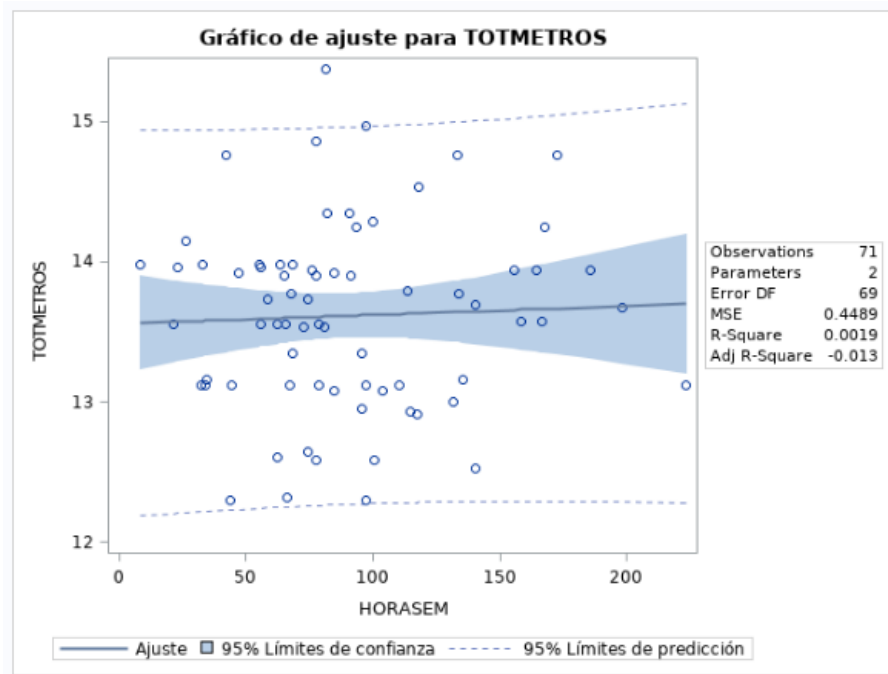


Ilustración 6. Ajuste de tendencia de datos Cielo Raso MDC

Con un valor de ajuste RSquare de 0.0019 no se puede determinar por este método gráfico una tendencia en cuanto al comportamiento de este contratista, es decir que no se puede definir que, a mayor total de horas trabajadas por ser semana, se tendrá un mayor avance de obra. Sin embargo, dentro de la gráfica sí se observa una región de pronósticos dentro de la cual se espera que se comporte el modelo para este tipo de actividades, la cual está comprendida entre 13 y 15 metros cuadrados por semana. Es importante tener en cuenta que este comportamiento es específico para esta obra y este contratista, en el intervienen factores humanos como la experticia, el compromiso y estado de ánimo de los trabajadores, los cuales para este caso en particular, evidenciaron posiblemente un bajo nivel de compromiso con el avance de obra, manteniendo un rendimiento uniforme independiente de su tiempo de permanencia en obra, perjudicando económica y administrativamente tanto al contratista como a la constructora.

Aseo:

ANÁLISIS DE CORRELACIONES MÚLTIPLE ASEO MIRADOR CAMPO
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|-----------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 55 | 3.63636 | 1.86948 | 200.00000 | 1.00000 | 10.00000 | TRABA |
| HORASEM | 55 | 141.85364 | 73.26588 | 7802 | 7.50000 | 315.35000 | HORASEM |
| PROMSEM | 55 | 39.00087 | 9.67445 | 2145 | 7.50000 | 63.75000 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 55 | 382.33835 | 137.00436 | 21029 | 62.24083 | 617.41462 | TOTMETROS |

Tabla 12. Análisis de correlación múltiple Aseo MDC

La actividad de aseo corresponde a las tres manos definidas contractualmente con el contratista. Este a su vez ejecuto actividades 55 semanas del total observado 85, teniendo en cuenta que esta actividad es sucesora de actividades de obra gris como alistado de pisos y remates de estructura. Con un promedio de 3.5 trabajadores por semana, si con una total de horas trabajadas de 39 horas semanales, el comportamiento del contratista es totalmente aceptado en cuanto a su cumplimiento y su avance semanal.

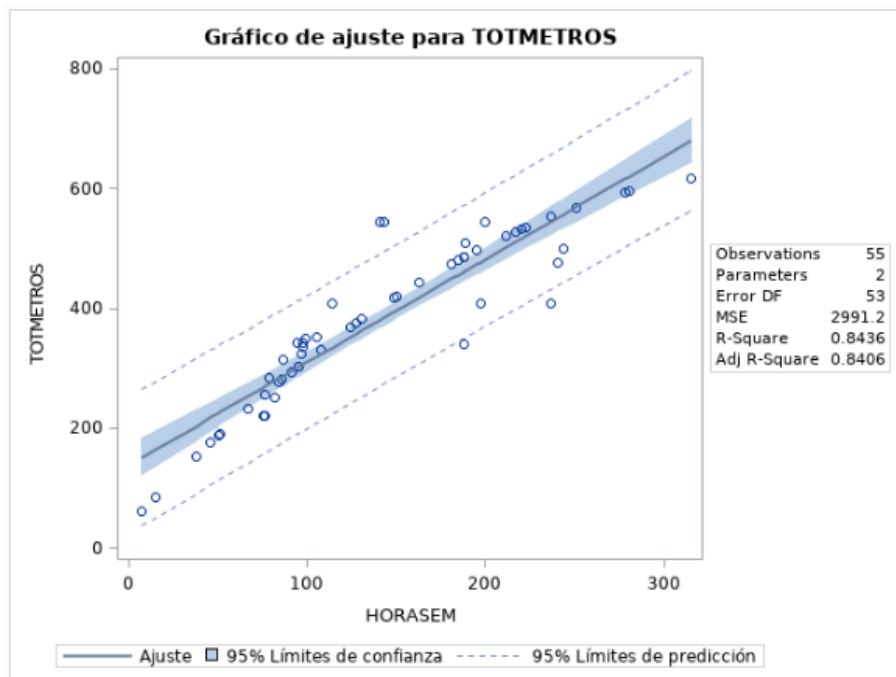


Ilustración 7. Ajuste de tendencia de datos Aseo MDC.

Con un valor de ajuste RSquare de 0.84 y observando la gráfica anterior (Figura #7), se observa un comportamiento específico y definido para el avance en obra de la actividad de Aseo a tres (3) manos. Del total de los datos registrados, 4 de estos se encuentran por fuera de los límites del pronóstico y son considerados como datos atípico, los cuales corresponde posiblemente a apartamentos en condiciones iniciales de aseo muy diferentes al común denominador, en otras palabras, se debe tener en cuenta que pueden presentarse apartamentos que requieran un mayor esfuerzo para el correcto desarrollo de la actividad de aseo y limpieza, debido a desaseo de los trabajadores de actividades predecesoras, inconvenientes climáticos entre otros. Debido que esta actividad se divide en tres subactividades denominadas manos, los esfuerzos requeridos pueden variar de una mano a otra, y ya que no se cuenta con la discriminación del personal en relación a qué tipo de subactividad están realizando, es posible identificar algunas diferencias en los avances de obra para total de horas trabajadas similares.

Carpintería:

ANALISIS DE CORRELACIONES MULTIPLE CARPINTERIA MIRADOR CAMPO
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|-----------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 41 | 2.73171 | 1.70330 | 112.00000 | 1.00000 | 6.00000 | TRABA |
| HORASEM | 41 | 88.58171 | 76.37648 | 3632 | 6.00000 | 317.50000 | HORASEM |
| PROMSEM | 41 | 30.33506 | 14.87373 | 1244 | 6.00000 | 60.75000 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 41 | 158.31402 | 103.94012 | 6491 | 28.50000 | 441.75000 | TOTMETROS |

Tabla 13. Análisis de correlación múltiple Carpintería MDC.

Al ser un contratista que cuenta con el material previamente fabricado, su permanencia en obra está definida por la disponibilidad de los materiales e insumos que cuente en tiempo real, en muchas ocasiones se presenta que algunos elementos no se encuentran disponibles en almacén y esto genera demoras o retrasos en la instalación de los módulos ya prefabricados. Es posible que algunos trabajadores adelanten actividades con el fin de evitar los tiempos muertos, sin embargo es conocido en la industria que el trabajador se retira de la obra al momento que se presente una discontinuidad en el suministro de materiales o insumos, para continuar con sus actividades una vez solucionados los temas logísticos ya

mencionados; esto corresponde a una de las razones por las cuales el contratista de Carpintería cuenta con un promedio semanal de horas trabajadas por hombre de 30 h.

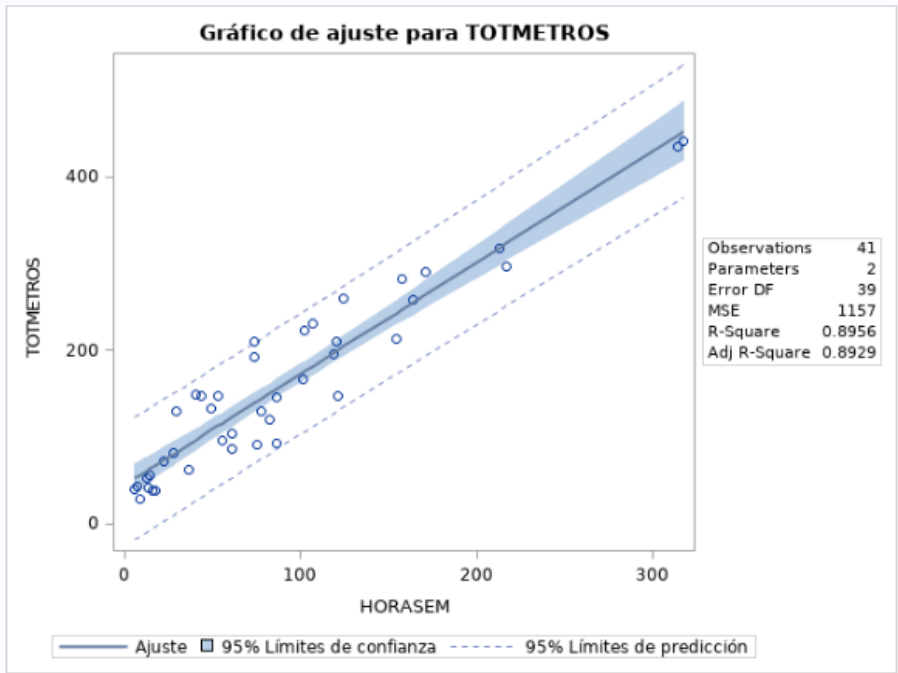


Ilustración 8. Ajuste de tendencia de datos Carpintería MDC.

Nuevamente el aspecto prefabricado en la carpintería juega un papel muy importante en su rendimiento de avance en obra, claramente por la gráfica se determina un comportamiento lineal definido por el RSquare de 0.89, y con todas las mediciones dentro de los límites del 95% de predicción. El no tener que realizar grandes modificaciones o ajusten en obra durante el proceso de instalación, permite mantener una continuidad en el proceso. Nuevamente las diferencias presentadas entre el total de metros trabajados para total de horas semanales similares están dadas por la experiencia y habilidad del trabajador principalmente.

Ventaneria:

ANALISIS DE CORRELACIONES MULTIPLE VENTANERIA MIRADOR CAMPO
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|----------|------------|-----------|---------|-----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 41 | 2.39024 | 1.09268 | 98.00000 | 1.00000 | 5.00000 | TRABA |
| HORASEM | 41 | 60.39390 | 40.53060 | 2476 | 3.85000 | 180.50000 | HORASEM |
| PROMSEM | 41 | 23.40163 | 8.75509 | 959.46667 | 3.85000 | 39.50000 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 41 | 43.28039 | 26.54748 | 1774 | 3.40400 | 107.64000 | TOTMETROS |

Tabla 14. Análisis de correlación múltiple Ventanería MDC.

Dentro del proceso de recolección de datos e información, se pudo determinar que el contratista de Ventanería propio de esta obra presentó una gran serie de inconsistencias en cuanto a su cumplimiento en obra, avances semanales, calidad de los insumos entre otros, es por esta razón que estos datos no son tenidos en cuenta dentro del modelo final de planeación, puesto que se considera un caso específico que no pudo ser incluido dentro de una generalización de la industria.

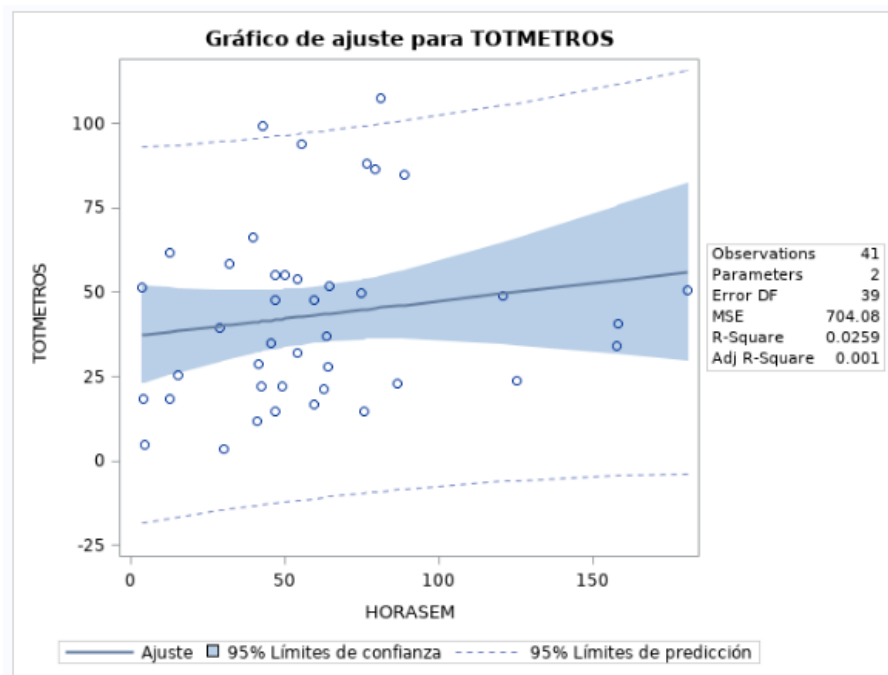


Ilustración 9. Ajuste de tendencia de datos Ventanería MDC.

Tal como se explicó anteriormente, la dispersión de los datos no puede ser atribuida a aspectos técnicos propios de la ejecución de la actividad, según el personal consultado de la constructora, las variaciones en el avance de obra están principalmente relacionadas con problemas administrativos, personal no calificado, reprocesos en instalación y mal manejo de personal por parte de los encargados en obra.

Mesones en Granito:

ANÁLISIS DE CORRELACIONES MÚLTIPLE MESONES MIRADOR CAMPO
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|----------|------------|-----------|---------|-----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 21 | 1.14286 | 0.35857 | 24.00000 | 1.00000 | 2.00000 | TRABA |
| HORASEM | 21 | 21.53095 | 22.38703 | 452.15000 | 5.00000 | 106.25000 | HORASEM |
| PROMSEM | 21 | 16.78333 | 10.24765 | 352.45000 | 5.00000 | 53.12500 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 21 | 11.95389 | 8.83362 | 251.03167 | 2.88333 | 37.19333 | TOTMETROS |

Tabla 15. Análisis de correlación múltiple Mesones en Granito MDC.

Al igual que carpintería los materiales e insumos comúnmente llegan listos a obra para su instalación, esto se relaciona directamente con el gran avance que puede llegar a mostrar las cuadrillas que ejecutan esta actividad. Para la actividad de instalación de mesones en Granito se registraron 21 de las 85 semanas observadas con avances de obra, para esta obra y contratista en particular, su tiempo de permanencia en obra y por consiguiente su tiempo real de trabajo es considerablemente bajo, alrededor de 17 horas a la semana por trabajador, comparado con los demás contratistas. Temas logísticos como la disponibilidad del material, o retrasos en actividades sucesoras afectaron estos tiempos, sin embargo, es importante tener en cuenta que se cuenta con una gran ventana de mejora sobre este aspecto el cual puede ser optimizado con supervisión y una mejor planeación de las actividades.

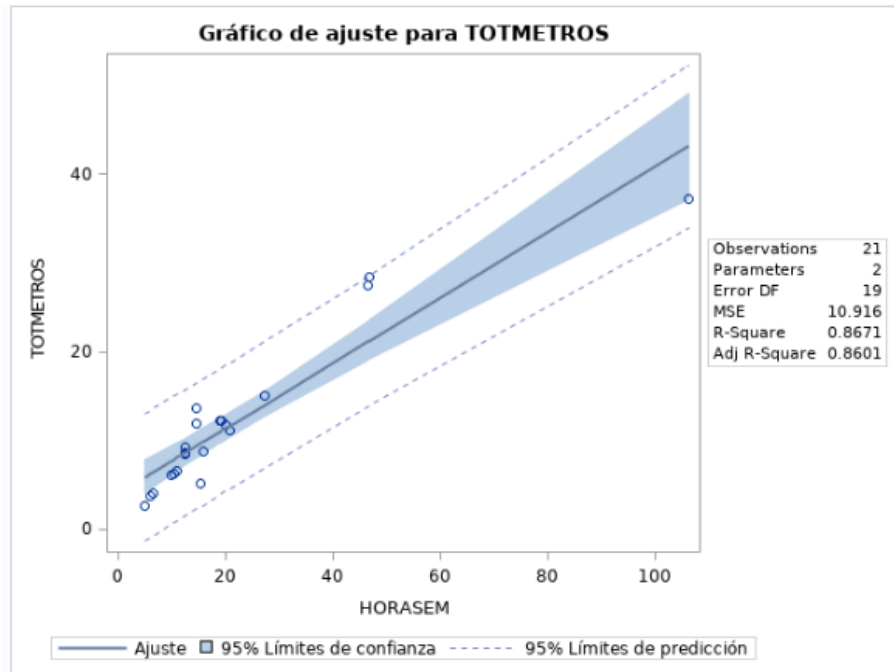


Ilustración 10. Ajuste de tendencia de datos Mesones en Granito MDC.

Como era de esperarse en actividades de instalación que no requieren preparación previa de materiales o áreas de trabajo, el comportamiento de la gráfica de avance es lineal, definido por el valor RSquare de 0.86. Todos los valores se encuentran dentro de los límites de predicción del comportamiento de la actividad y no se encontraron datos atípicos que pudieran sugerir contemplar posibles problemas en la ejecución de la actividad a lo largo de las semanas observadas.

Análisis estadístico actividades de acabados Tierra Linda

Enchape:

ANALISIS DE CORRELACIONES MULTIPLE ENCHAPE TIERRA LINDA
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|-----------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 71 | 3.66197 | 2.04201 | 260.00000 | 1.00000 | 10.00000 | TRABA |
| HORASEM | 71 | 145.72042 | 88.49030 | 10346 | 6.80000 | 344.50000 | HORASEM |
| PROMSEM | 71 | 38.76765 | 9.50078 | 2753 | 6.80000 | 52.50000 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 71 | 264.73790 | 149.79039 | 18796 | 39.97760 | 631.56920 | TOTMETROS |

Tabla 16. Análisis de correlación múltiple Enchape TL.

Aunque el número de observaciones (76 semanas) fue menor para esta Obra Tierra Linda comparada con Mirador del Campo, la actividad de enchape mostró avance en 71 semanas, con un número máximo de trabajadores de 10 en una sola semana. El promedio de horas trabajadas por semana fue de 38.7 h, lo cual representa un valor similar en ambos contratistas que desarrollaron la misma actividad en las dos obras. Igualmente, aunque este valor no es el óptimo, no se puede despreciar en cuanto a su valor real en la industria, teniendo en cuenta que está muy cercano a las 48 horas ideales de trabajo por semana estipuladas legalmente.

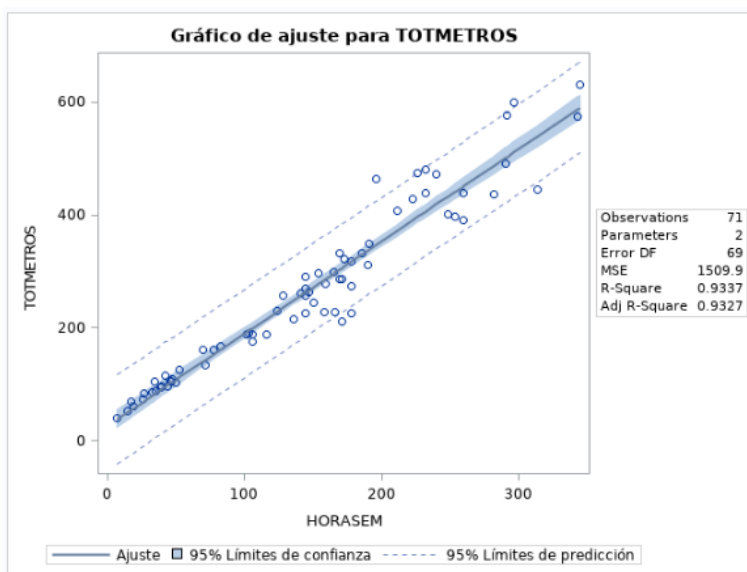


Ilustración 11. Ajuste de tendencia de datos Enchape TL.

La gráfica anterior (Figura #11) muestra un comportamiento con tendencia lineal dada por un valor de ajuste RSquare de 0.9337. La dispersión de los datos en este proyecto es menor, con cinco (5) puntos atípicos que se encuentran por fuera de los límites de predicción del 95%, sin embargo, sus diferencias pueden ser fácilmente atribuidas a los reprocesos que se tienen en obra atendiendo a los estándares de calidad, lo que implica que trabajador destine tiempo de avance en ejecutar correcciones a tareas ejecutadas previamente.

En general el comportamiento de los datos es el esperado partiendo de la teoría que a mayor tiempo de trabajo es mayor el avance de obra. Por último, se puede identificar que la dispersión en el avance se empieza a presentar superadas las 150 horas de trabajo semanales, a lo cual se puede asociar factores de fatiga o el reinicio de actividades, puesto que una vez se inician labores en un nuevo apartamento, es común que el avance no sea el mismo hasta lograr nuevamente una estabilidad en la curva de rendimiento específica de cada inmueble.

Pintura:

ANALISIS DE CORRELACIONES MULTIPLE PINTURA TIERRA LINDA
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|-----------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 75 | 5.84000 | 1.97032 | 423.00000 | 2.00000 | 10.00000 | TRABA |
| HORASEM | 75 | 194.45000 | 74.29812 | 14584 | 50.00000 | 333.50000 | HORASEM |
| PROMSEM | 75 | 34.33588 | 5.24532 | 2575 | 18.25000 | 47.75000 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 75 | 238.42000 | 67.20739 | 17882 | 78.00000 | 347.10000 | TOTMETROS |

Tabla 17. Análisis de correlación múltiple Pintura TL.

El personal de pintura ejecutó actividades durante 75 semanas, con un promedio semanal de horas reales trabajadas de 34.3 h, lo cual se puede considerar un valor con aceptación media, comparado con el mínimo esperado de 48 horas semanales, y el promedio de horas trabajadas por semana del otro proyecto el cual fue mayor. Igualmente para esta actividad se parte del hecho que los contratistas cuentan con la total potestad sobre el manejo de los horarios de sus trabajadores, lo cual en este caso se pudo ver afectada por una deficiente gestión y manejo por parte del encargado de personal, que no facilitó las condiciones para la ejecución de actividades de una forma constante a lo largo de cada una de las semanas, impidiendo mostrar

mejores resultados en este aspecto de asistencia y permanencia en el proyecto por parte de los trabajadores, factor fundamental al momento de desarrollar un proceso de planeación.

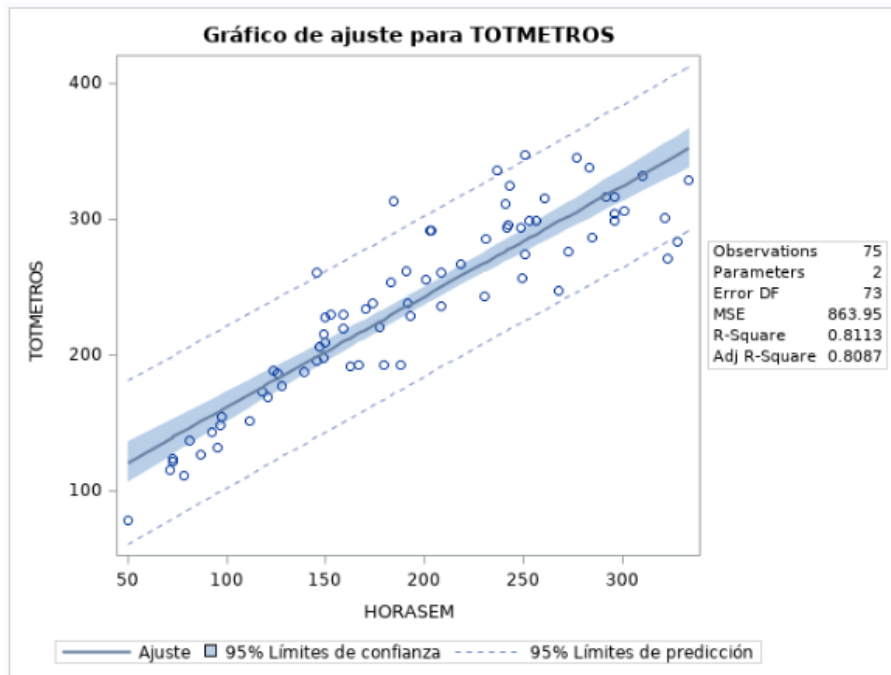


Ilustración 12. Ajuste de tendencia de datos Pintura TL.

En la gráfica anterior (Figura #12) se observa una menor cantidad de datos atípicos en comparación con la otra obra en estudio. Dentro de la curva de rendimiento para valores pequeños de horas trabajadas en la semana, el avance de obra muestra un comportamiento más uniforme a lo largo de la curva hasta alcanzar las 150 horas de trabajo semanales, situación muy similar a la que sucede con la actividad de enchape.

Una vez se pasa este umbral de 150 horas, el comportamiento de los datos comienza a ser muy similar al mostrado por el otro contratista de pintura con un valor RSquare de 0.8113, normalizándose en unos rendimientos con ciertas variaciones definidas dentro de los límites de predicción y muy cercanos a los límites del área de confianza del 95%. Esto se puede tener varias explicaciones, en primer lugar, el nivel de habilidad de los trabajadores, cuya curva de rendimiento individual afecta directamente el rendimiento general del contratista, fácilmente evidenciable cuando se lleva varias semanas en el proyecto, lo cual estabiliza la curva de aprendizaje y se establece un rendimiento específico para cada trabajador. Adicionalmente al igual que en el otro proyecto de vivienda existen dos factores que dan explicación a la

dispersión de los datos en valores cercanos de horas semanales trabajadas, estos factores se relacionan con las áreas a intervenir.

Nuevamente el tipo de mano de pintura que se está aplicando corresponde a un segundo factor que influye en la dispersión, puesto que dentro de la gráfica y la toma de datos no se generó una diferenciación entre la aplicación de primera, segunda o tercera mano, sin embargo también se puede relacionar con el nivel de complejidad que requiere la aplicación de tercera mano, debido que se pueden presentar actividades adicionales como protección del pisos, ventanería, guarda escobas, u otros elementos que requieran una mayor atención y hayan sido instalados previamente por decisión de la dirección de obra.

Cielo raso:

ANALISIS DE CORRELACIONES MULTIPLE CIELO TIERRA LINDA
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|----------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 55 | 2.14545 | 0.89085 | 118.00000 | 1.00000 | 5.00000 | TRABA |
| HORASEM | 55 | 61.04545 | 33.81908 | 3358 | 5.00000 | 184.00000 | HORASEM |
| PROMSEM | 55 | 27.88795 | 9.39795 | 1533 | 3.83333 | 43.00000 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 55 | 19.45353 | 1.45148 | 1070 | 16.70400 | 22.20000 | TOTMETROS |

Tabla 18. Análisis de correlación múltiple Cielo Raso TL.

Esta actividad mostro un avance por 55 semanas en las cuales se tuvo un promedio semanal de horas trabajadas de 27.8 horas. Adicionalmente se observa un promedio de avance semanal de 19.45 metros cuadrados con una desviación estándar considerablemente baja de 1.45 metros cuadrados, lo cual indica que el avance en términos constructivos se puede considerar como constante, independientemente de las horas trabajadas. Esto se puede explicar por varios factores en los cuales está la gran cantidad de detalle que requiere la actividad, lo cual hace complejo el seguimiento de un avance semanal detallado, los reprocesos en cuanto al encintado de uniones, aplicación de masilla y pintura, y temas administrativos como la deficiente supervisión.

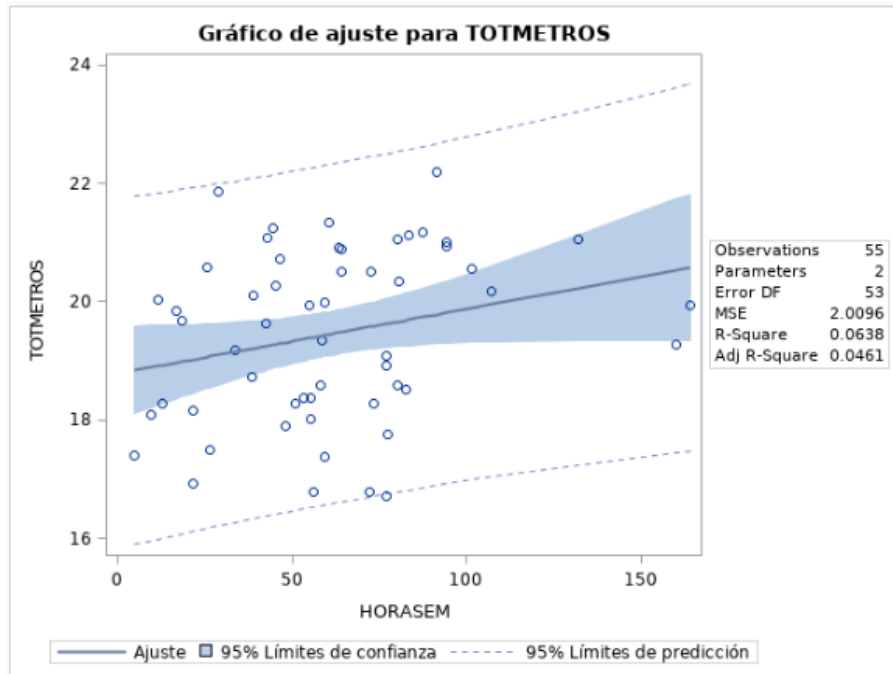


Ilustración 13. Ajuste de tendencia de datos Cielo Raso TL.

De la gráfica anterior (Figura #13) se resalta el comportamiento similar que se evidencia en ambas obras para este tipo de actividad, más adelante se realizará una comparación puntual entre los comportamientos de cada contratista en sus respectivas obras, sin embargo, en una primera observación del gráfico se concluye que el avance de la actividad Cielo Raso no está correlacionada directamente con las horas de permanencia en obra del personal.

Con un valor RSquare de 0.06 el cual no describe una tendencia lineal de los datos y la no presencia de datos atípicos en las observaciones registradas, es posible definir un comportamiento a futuro dentro de los límites de predicción, que llevados a dimensiones reales oscilan entre los 16 y 22 metros cuadrados de avance por semana.

Aseo:

ANÁLISIS DE CORRELACIONES MÚLTIPLE ASEO TIERRA LINDA
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|-----------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 69 | 3.01449 | 1.58572 | 208.00000 | 1.00000 | 8.00000 | TRABA |
| HORASEM | 69 | 99.47101 | 61.33412 | 6864 | 8.50000 | 262.50000 | HORASEM |
| PROMSEM | 69 | 32.21279 | 10.88819 | 2223 | 5.66667 | 48.25000 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 69 | 284.07826 | 133.64968 | 19601 | 50.70000 | 588.25000 | TOTMETROS |

Tabla 19. Análisis de correlación múltiple Aseo TL.

Con 32 horas semanales de trabajo en promedio por trabajador, se evidencia una menor cantidad de horas semanales trabajadas por este contratista en comparación con el registrado para Mirador del Campo. Igualmente, su promedio de avance de obra semanal es aceptable, pues se está hablando de 284 metros cuadrados con un promedio en obra de 3 trabajadores.

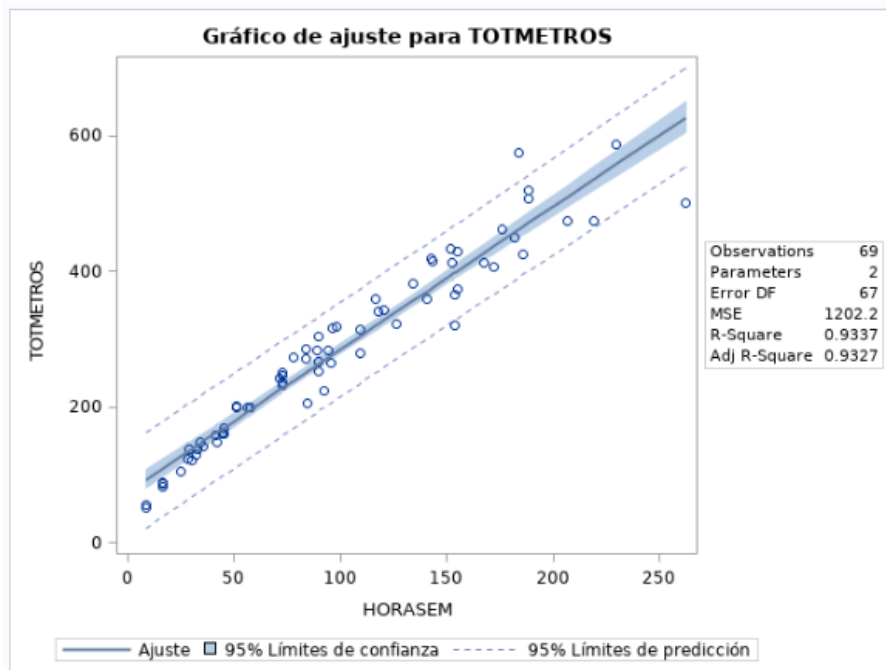


Ilustración 14. Ajuste de tendencia de datos Aseo TL.

Con tan solo 3 datos atípicos, las 69 semanas observadas para esta actividad constituyen un número significativo de datos que permiten definir una tendencia y un comportamiento de pronóstico para el desarrollo de un modelo para la actividad de Aseo.

En la gráfica anterior (Figura # 14) se puede observar una relación directa entre las horas trabajadas por semana y el avance en obra, tal como sucede con las demás actividades que evidencian un comportamiento lineal entre estas dos variables (tiempo-avance).

Para valores menores a 100 horas semanales trabajadas (eje x), se define una zona inicial de avance en la cual la dispersión de los datos es mínima, a medida que el tiempo de permanencia en obra supera este umbral, los valores de avance comienzan a presentar variaciones relacionadas con las aptitudes y habilidades individuales de cada trabajador, el área a intervenir, y para este caso en particular, el estado en el que se encuentra el inmueble previo al inicio de la actividad, ya que en condiciones reales, este depende estrictamente de un adecuado control sobre la limpieza y la ejecución de actividades predecesoras ejecutadas dentro del apartamento a intervenir, por tal razón las condiciones previas del inmueble se convierten en un factor determinante sobre la cantidad de esfuerzo que se debe emplear para llevar a cabo las tres manos de aseo contractualmente definidas.

Carpintería:

ANALISIS DE CORRELACIONES MULTIPLE CARPINTERIA TIERRA LINDA
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|-----------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 36 | 2.44444 | 1.08088 | 88.00000 | 1.00000 | 5.00000 | TRABA |
| HORASEM | 36 | 68.88889 | 47.53483 | 2480 | 11.00000 | 163.50000 | HORASEM |
| PROMSEM | 36 | 25.27338 | 9.75053 | 909.84167 | 6.37500 | 40.87500 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 36 | 119.68750 | 68.48758 | 4309 | 32.31000 | 248.40000 | TOTMETROS |

Tabla 20. Análisis de correlación múltiple Carpintería TL.

Particularmente para esta actividad se contó con el mismo contratista en cuanto a suministro de material, sin embargo, según los registros de ingreso de personal, el personal de instalación no fue el mismo para ambas obras, por lo cual se puede asumir que se están analizando dos contratistas diferentes. De igual forma que para el proyecto Mirador del Campo, para la actividad de carpintería se cuenta con el material previamente fabricado. El promedio de horas semanales trabajadas de 25.2 horas es considerablemente bajo, comparado con un mínimo esperado de 48 horas semanales, sin embargo, el tamaño de las cuadrillas es muy

similares para ambos proyectos, comparando entre 2.4 y 2.7 trabajadores en promedio por semana en las obras Tierra Linda y Mirador del Campo respectivamente.

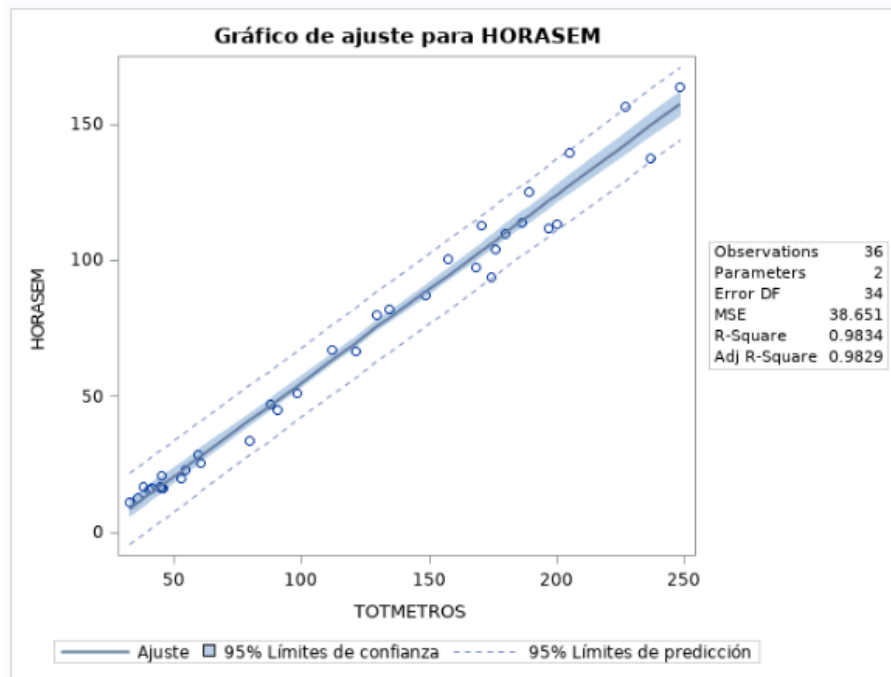


Ilustración 15. Ajuste de tendencia de datos Carpintería TL

Se puede observar de la gráfica anterior (Figura #15) una tendencia casi lineal definida por un valor RSquare de 0.98, para lo cual el aspecto prefabricado en la carpintería juega un papel muy importante en el rendimiento de avance en obra. Adicionalmente todas las mediciones se encuentran dentro de los límites del 95% de predicción lo cual permite determinar que no se presentaron datos atípicos en las observaciones realizadas. El no tener que realizar grandes modificaciones o ajustes en obra durante el proceso de instalación, permite mantener una continuidad en el proceso. Nuevamente las diferencias presentadas entre el total de metros trabajados para total de horas semanales similares están dadas por la experiencia y habilidad del trabajador principalmente.

Ventanería:

ANÁLISIS DE CORRELACIONES MÚLTIPLE VENTANERÍA TIERRA LINDA
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|----------|------------|-----------|----------|----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 23 | 1.78281 | 0.73687 | 41.00000 | 1.00000 | 4.00000 | TRABA |
| HORASEM | 23 | 41.40217 | 22.40241 | 952.25000 | 8.50000 | 97.00000 | HORASEM |
| PROMSEM | 23 | 24.91304 | 12.74930 | 573.00000 | 8.00000 | 48.50000 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 23 | 38.34816 | 9.56302 | 836.00760 | 16.66110 | 51.31900 | TOTMETROS |

Tabla 21. Análisis de correlación múltiple Ventanería TL.

Al no participar en esta obra el mismo contratista de Ventanería que presentó problemas e inconsistencias administrativas en la obra Mirador del Campo, se procede a analizar los datos de rendimiento de la actividad de Ventanería con las 23 semanas observadas y registradas. Tal como se describió en la actividad analizada anteriormente (Carpintería), el promedio de horas semanales trabajadas de 24.9 horas es considerablemente bajo, comparado con un mínimo esperado de 48 horas semanales. Al mismo tiempo el tamaño de las cuadrillas no alcanza a dos (2) trabajadores semanales en promedio, para una actividad que constantemente requiere de la ejecución de actividades en paralelo, es posible que esta situación represente uno de los factores claves en el rendimiento que se calculara más adelante.

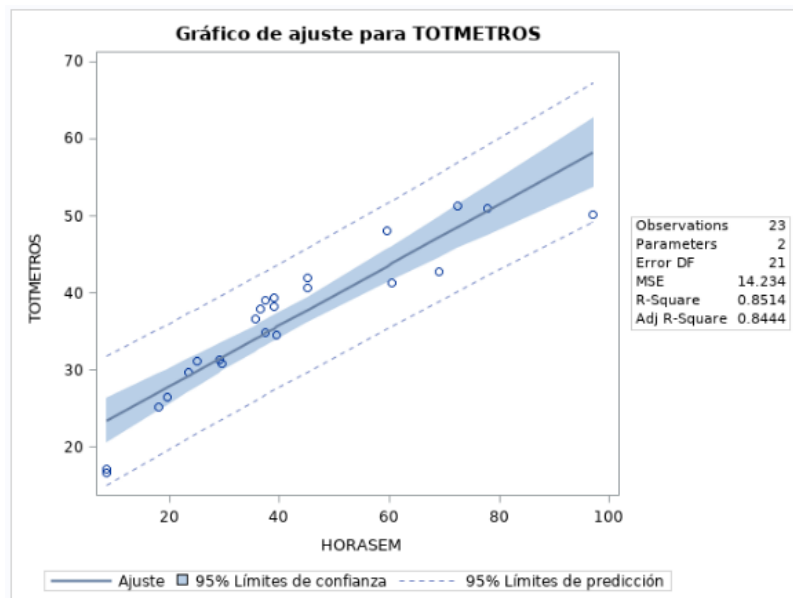


Ilustración 16. Ajuste de tendencia de datos Ventanería TL.

En total contraposición de la gráfica de Carpintería en Mirador del Campo, para esta obra Tierra Linda si se cuenta con una serie de datos que permiten definir una tendencia y un modelo de comportamiento de la actividad; con un valor RSquare de 0.85, se concluye un comportamiento lineal, el cual es fácil de determinar al no presentarse datos atípicos dentro de las mediciones registradas y adicionalmente valores muy cercanos a la zona de los límites de confianza de 95%.

Mesones en Granito:

ANALISIS DE CORRELACIONES MULTIPLE MESONES TIERRA LINDA
Procedimiento CORR

4 Variables: TRABA HORASEM PROMSEM TOTMETROS

| Estadísticos simples | | | | | | | |
|----------------------|----|----------|------------|-----------|---------|----------|-----------|
| Variable | N | Media | Desv. est. | Suma | Mínimo | Máximo | Etiqueta |
| TRABA | 19 | 1.89474 | 0.73747 | 36.00000 | 1.00000 | 4.00000 | TRABA |
| HORASEM | 19 | 24.97366 | 17.63891 | 474.50000 | 4.25000 | 76.50000 | HORASEM |
| PROMSEM | 19 | 13.99781 | 9.80056 | 265.95833 | 2.12500 | 38.25000 | PROMSEM |
| TOTMETROS | 19 | 15.91566 | 9.45574 | 302.39750 | 3.62500 | 41.06400 | TOTMETROS |

Tabla 22. Análisis de correlación múltiple Mesones en Granito TL.

Al igual que las actividades de Ventanería y Carpintería, los materiales e insumos comúnmente llegan listos a obra para su instalación, esto se relaciona directamente con el gran avance que puede llegar a mostrar las cuadrillas que ejecutan esta actividad. Para la actividad de instalación de mesones en Granito en Tierra Linda se registraron 19 de las 76 semanas observadas con avances de obra, su tiempo de permanencia en obra y por consiguiente su tiempo real de trabajo es considerablemente bajo, alrededor de 13.9 horas a la semana por trabajador, comparado con los demás contratistas y el mínimo esperado de 48 horas semanales. Se llega a la misma conclusión con respecto al otro contratista objeto de análisis, para los cuales es posible que temas logísticos como la disponibilidad del material, o retrasos en actividades sucesoras afectaran los tiempos de permanencia en obra.

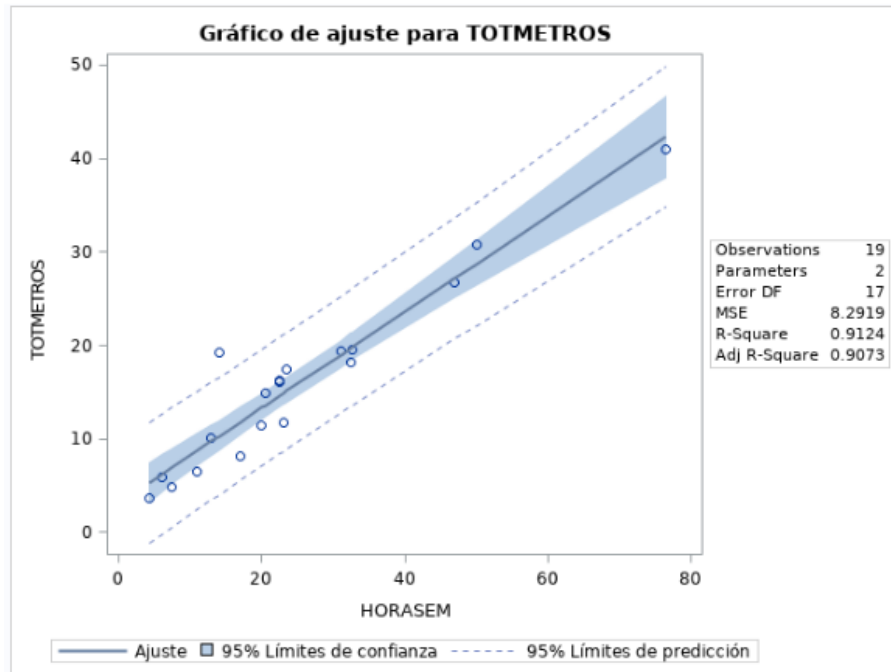


Ilustración 17. Ajuste de tendencia de datos Mesones Granito TL

Como era de esperarse en actividades de instalación que no requieren preparación previa de materiales o áreas de trabajo, el comportamiento de la gráfica de avance es lineal, definido por el valor RSquare de 0.91. Con un valor atípico superior a 10 metros lineales con respecto a la media, se asume que los valores se encuentran dentro de los límites de predicción del comportamiento de la actividad y no se deben contemplar posibles problemas en la ejecución de la actividad a lo largo de las semanas observadas. Esta situación atípica se presentó por un aumento puntual en el tamaño de la cuadrilla dentro de una de las semanas observadas, sin embargo, este número no se mantuvo por lo que se consideró como una distorsión en el comportamiento del avance de la actividad en el tiempo.

Comparación gráfica de contratistas por actividad

Una vez realizado el análisis individual del comportamiento de los contratistas para cada una de las actividades objeto de estudio, a continuación se presentan una serie de gráficas comparativas entre los avances de obra en cada uno de los proyectos observados (Mirador del Campo y Tierra Linda), el incluir en una sola imagen el comportamiento de una actividad en cada una de las obras, permite determinar similitudes y diferencias generales en cuanto al avance de obra, dispersión gráfica de los datos, máximo de horas trabajadas en la semana y comportamientos atípicos no relacionados directamente con el ejercicio de la actividad.

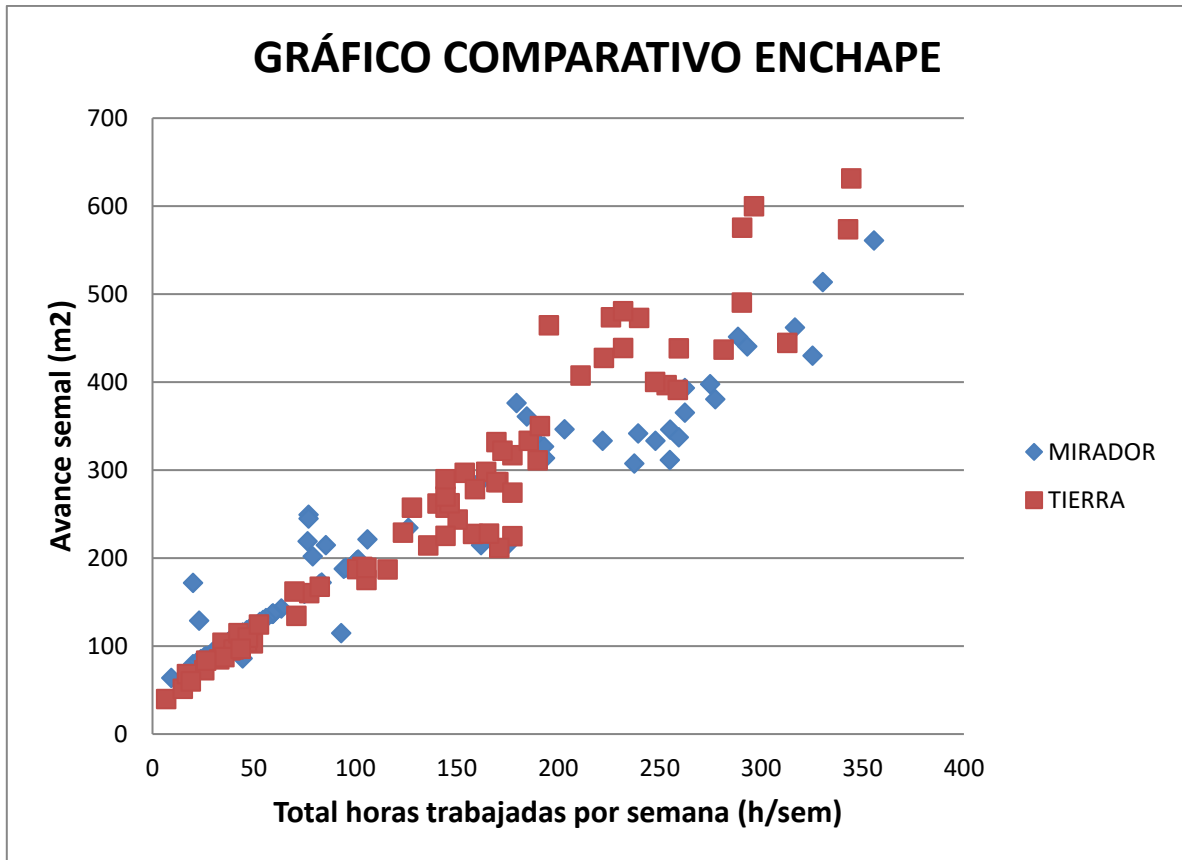


Ilustración 18. Comparativo de tendencias Enchape.

La gráfica anterior (Figura #18) muestra un comportamiento similar de ambos contratistas en cuanto a rendimiento semanal, horas trabajadas en total dentro de una semana, y el desarrollo de la curva de aprendizaje que se mantiene de forma lineal a medida que la cantidad de horas trabajadas aumenta.

Se presenta una dispersión de datos una vez superadas las 200 horas totales trabajadas por semana, lo cual está directamente relacionado con la experticia de los instaladores, los cuales mejoran su rendimiento en una mayor proporción con el paso del tiempo, en comparación con los instaladores que ejecutan actividades en el otro proyecto, sin embargo esta diferencia no se considera significativa, lo que permite concluir que el comportamiento descrito anteriormente corresponde al comportamiento real en obra en proyectos futuros con características similares.

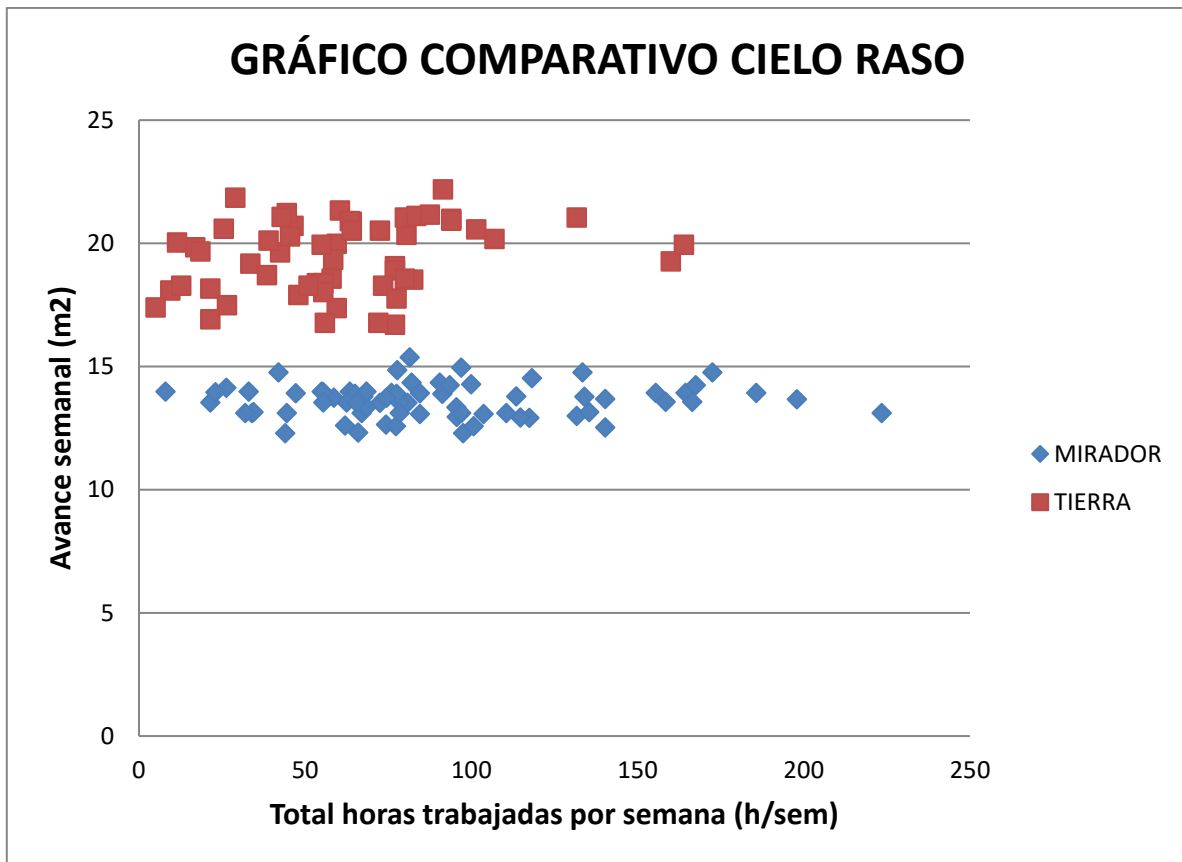


Ilustración 19. Comparativo de tendencias Cielo Raso.

La gráfica anterior que describe el comportamiento de cada uno de los contratistas que ejecutaron actividades de cielo raso en los dos proyectos observados, permite determinar dos conclusiones claves, en primer lugar, no se evidencia en ninguno de los dos casos un crecimiento en la curva de aprendizaje definido por el tiempo trabajado, en otras palabras, el rendimiento y el nivel de experticia de los instaladores no se ve influenciado a medida que se desarrolla el proyecto a lo largo del tiempo. Igualmente es importante resaltar que el avance semanal en metros cuadrados permanece constante o con una tendencia plana independiente de las horas trabajadas por semana, lo cual es un claro indicador de dos factores claves, el primero es que esta actividad no se encuentra bajo una supervisión precisa y constante por parte del área administrativa, puesto que dentro de los factores lógicos, entre más horas empleadas para el desarrollo de una actividad, el avance debe ser mayor, y como segunda factor se define que dentro de esta actividad, pueden existir sub actividades que no son tenidas en cuenta dentro de la medición de rendimientos, las cuales están consumiendo

gran cantidad de los recursos de tiempo y mano de obras pero que no son cuantificadas dentro de la medición dada.

En cuanto a las diferencias de avance en metros cuadrados para unidades de tiempo similares en ambos proyectos observados, se relacionan directamente con la complejidad de los proyectos, puesto que la geometría del proyecto Tierra Linda requiere un menor número de cortes y modificaciones en la estructura de aluminio, lo cual permite determinar un mayor avance, sin embargo al igual que en la actividad de enchape, en términos de órdenes de magnitud, esta diferencia en el avance semanal se considera despreciable.

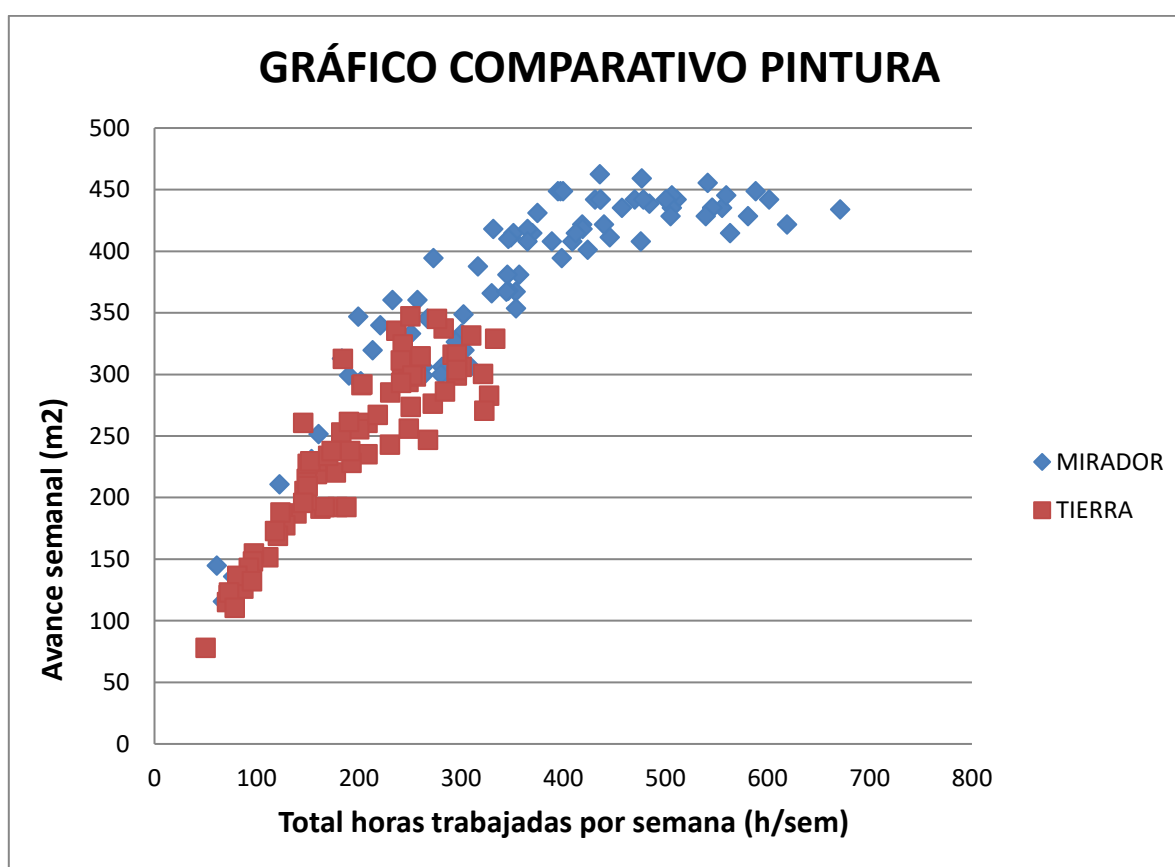


Ilustración 20. Comparativo de tendencias Pintura

Aunque para la obra Mirador del campo se cuenta con un mayor número de observaciones, claramente se puede observar y determinar gráficamente un comportamiento específico de la actividad de pintura dentro de los proyectos de obras civiles con las características similares a los observados en el desarrollo de este proyecto de investigación. No se presentan grandes dispersiones para cada una de las obras, que permita identificar la acción de factores externos

que estén modificando el comportamiento y el rendimiento de pintores o si el propio contratista en general.

La gráfica permite definir una clara tendencia de rendimiento a lo largo del tiempo, la cual será incluida en el modelo presentado más adelante como herramienta de planeación y control de acabado en obras civiles de vivienda.

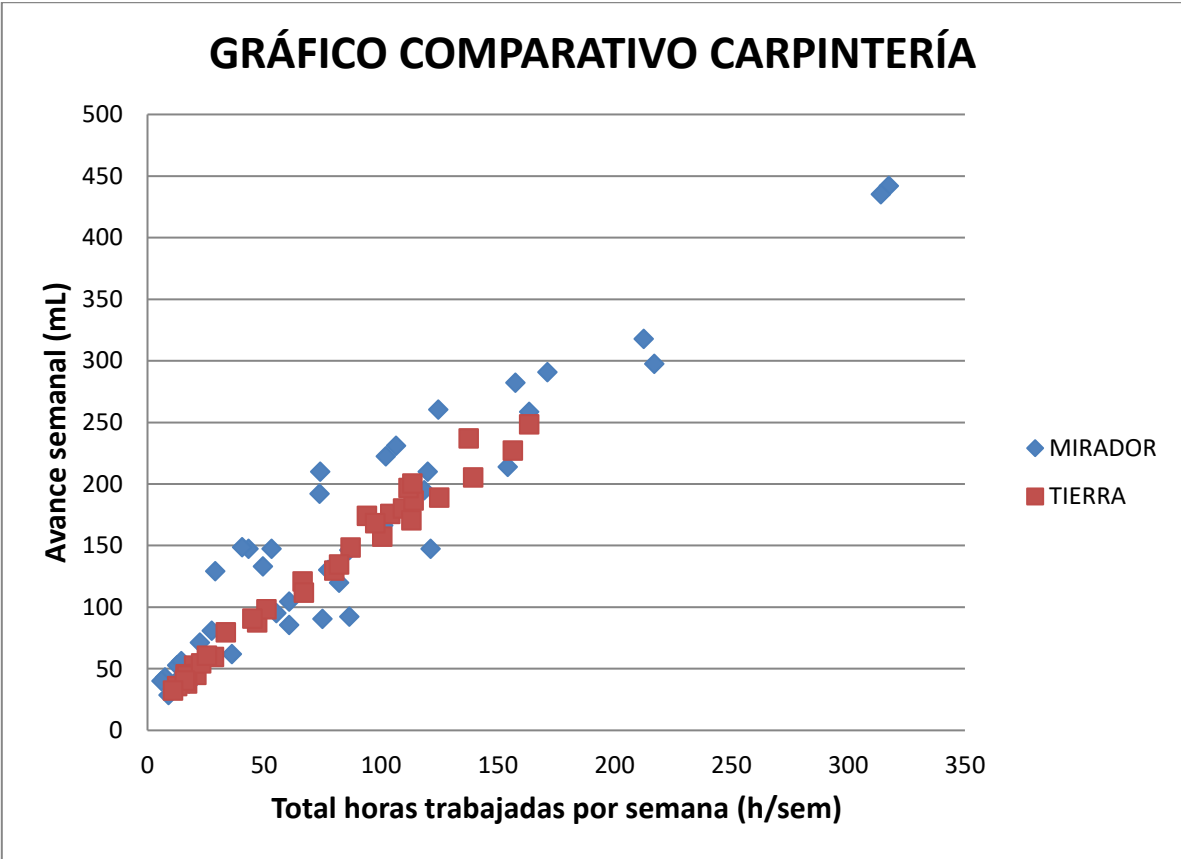


Ilustración 21. Comparativo de tendencias Carpintería.

En cuanto a la actividad de Carpintería se observa gráficamente un comportamiento similar en ambas obras, particularmente para este caso, el contratista que suministraba el material era el mismo, sin embargo, las cuadrillas de instalación si diferían.

La principal conclusión respecto a la dispersión observada está relacionada directamente con el compromiso y cumplimiento que cada cuadrilla desarrollaba dentro de la ejecución de las actividades; en conversación con el personal directivo de cada una de las obras, se pudo determinar que para el proyecto Tierra Linda, la asistencia, constancia, y permanencia en

obra del contratista era mucho mejor en comparación de la segunda obra (Mirador del Campo), es decir que se presentaron menores inconformidad en la calidad y cumplimiento del personal que desarrollaba actividades en el proyecto Tierra Linda. Al ser este un factor humano que no hace parte del objeto de este proyecto, este no se tiene en cuenta al momento de definir la ecuación de comportamiento en el modelo final de control, sin embargo.

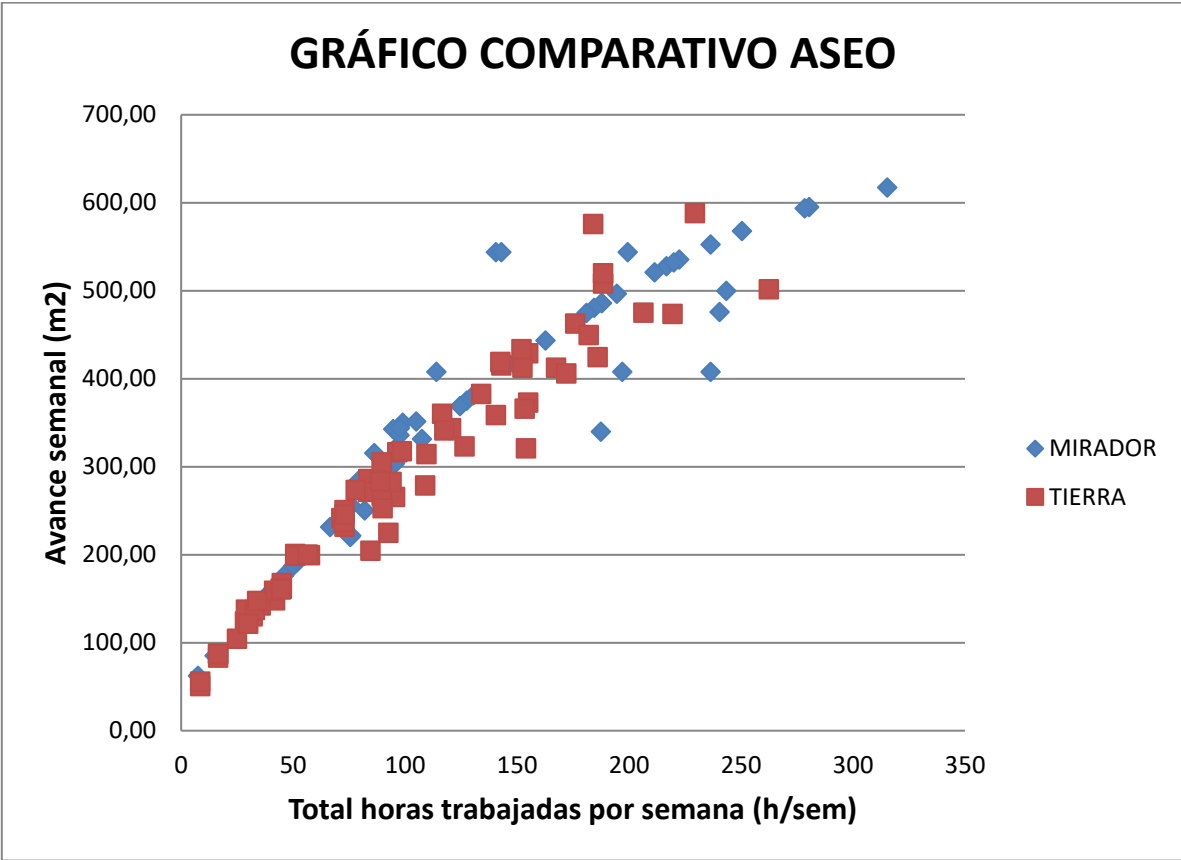


Ilustración 22. Comparativo de tendencias Aseo.

La gráfica anterior (Figura # 22) que describe el comportamiento del rendimiento de los trabajadores de la actividad de Aseo permite definir claramente una tendencia en el tiempo para el desarrollo de esta actividad, la cual será incluida dentro del modelo final de planeación y control; es claro que las pequeñas diferencias observadas una vez superadas las 180 horas semanales trabajadas, está dada por factores humano e imprevistos ajenos al desarrollo propio de la actividad, por lo tanto serán tenidos en cuenta como una contingencia para el desarrollo del modelo, pero no afectaran la ecuación que describe el comportamiento de la actividad.

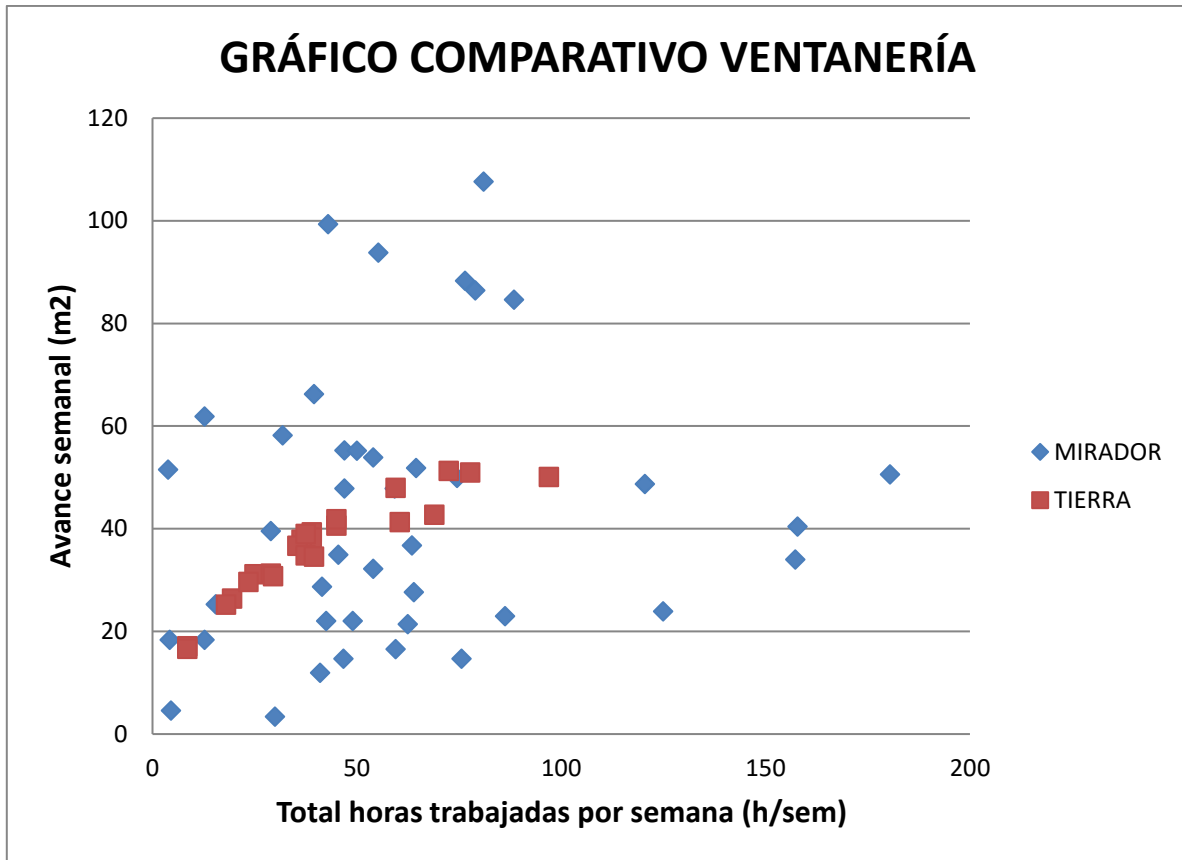


Ilustración 23. Comparativo de tendencias Ventanería.

Como se mencionó anteriormente en el análisis estadístico de cada una de las actividades observadas, la actividad de instalación de ventanería tuvo una gran cantidad de problemas administrativos durante su desarrollo en el proyecto Mirador del Campo, razón por la cual los datos obtenidos no se ajustan a un comportamiento real y deben ser descartados en el análisis y la descripción de la ejecución de la actividad de instalación de ventanería. Es por esta razón que no es posible generar una comparación entre ambos proyectos, y debido a la imposibilidad de desarrollar nuevamente las mediciones se toma en consideración únicamente los datos obtenidos en el proyecto Tierra Linda, los cuales se usaran para describir el comportamiento de la actividad en el modelo de planeación y control.

Teniendo como única fuente los datos del proyecto Tierra Linda, estos muestran un comportamiento lineal en cuanto al avance de obra en función del tiempo. Cabe resaltar que, para el desarrollo de esta actividad, se garantizaron actividades previas como el control dimensional de los vanos y se respetaron las tolerancias requeridas por el contratista para el

correcto ejercicio de su actividad, lo cual se convierte en un factor clave de éxito al momento de la instalación de la ventanería. De no tener en cuenta estas recomendaciones y actividades previas requeridas por los contratistas de ventanería, el comportamiento de la gráfica comenzará a verse afectado, lo cual modificará el avance en obra y generará retrasos en los tiempos de entrega de la actividad.

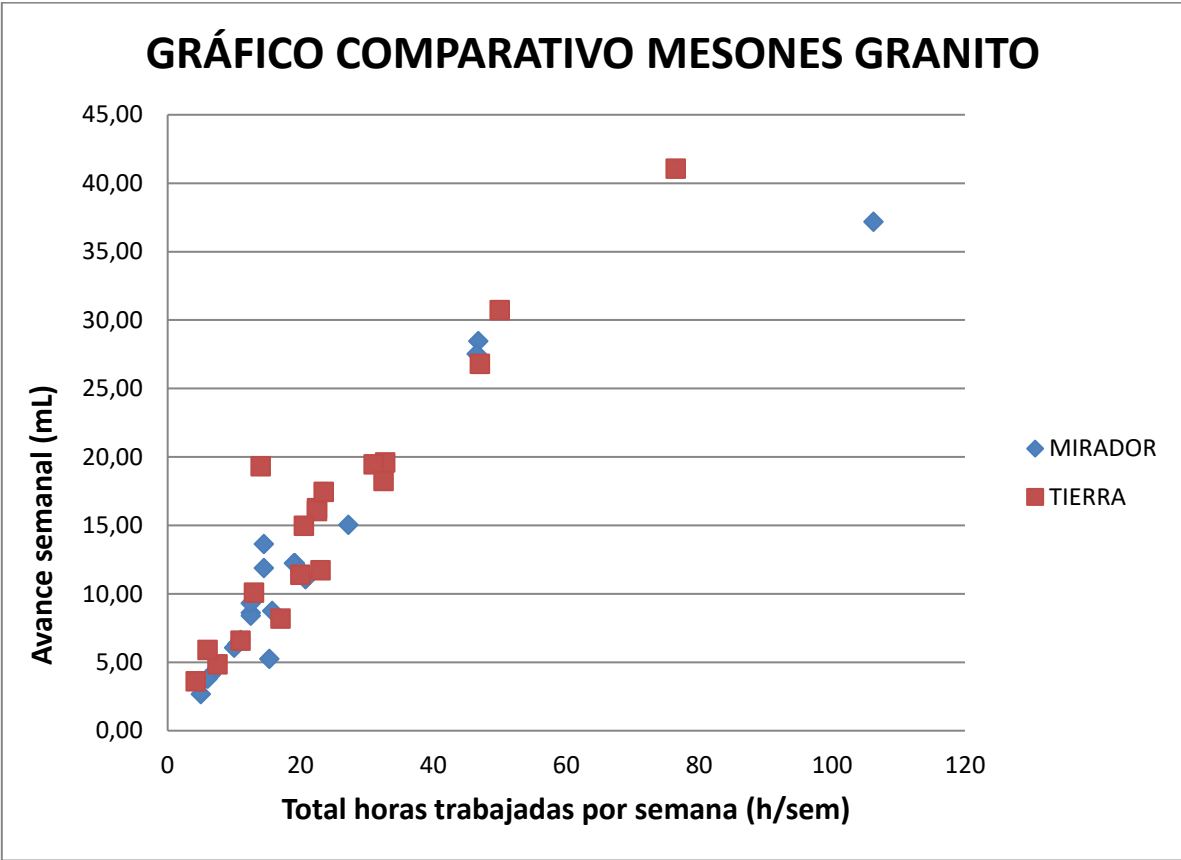


Ilustración 24. Comparativo de tendencias Mesones Granito.

Esta actividad no cuenta con una gran cantidad de datos recolectados debido que su fabricación se genera en casi un 95% fuera de obra, y las modificaciones que se deben desarrollar dentro del proyecto son mínimas, lo cual reduce el ejercicio de la actividad a una instalación sencilla, maquillaje, pulido y corrección de posibles defectos.

En cuanto al rendimiento en el avance semanal, se observa que se desarrolla con un crecimiento lineal a medida que se emplea un mayor número de horas trabajadas por semana, este comportamiento es el mismo observado en ambos proyectos por lo cual se toma como referencia de la actividad.

Resumen de rendimientos

Partiendo del análisis de los datos obtenidos y los comportamientos descritos con el análisis estadístico realizado, a continuación, se relaciona en dos tablas un resumen de los rendimientos por hora por persona para cada una de las obras observadas, lo cual permite realizar una comparación con los valores presentados en la literatura disponible actualmente.

Resumen rendimientos en obra Mirador del Campo

| ACTIVIDAD | RENDIMIENTO POR HORA POR PERSONA | UNIDADES |
|------------------|----------------------------------|------------------|
| PINTURA | 1.12 | METROS CUADRADOS |
| CIELO RASO | 0.22 | METROS CUADRADOS |
| ENCHAPE | 2.41 | METROS CUADRADOS |
| CARPINTERIA | 2.39 | METROS LINEALES |
| VENTANERIA | 1.31 | METROS LINEALES |
| MESONES/ GRANITO | 0.61 | METROS LINEALES |
| ASEO | 3.08 | METROS CUADRADOS |

Tabla 23. Resumen de rendimientos de obra MDC.

Resumen rendimientos en obra Tierra Linda

| ACTIVIDAD | RENDIMIENTO POR HORA POR PERSONA | UNIDADES |
|------------------|----------------------------------|------------------|
| PINTURA | 1.29 | METROS CUADRADOS |
| CIELO RASO | 0.51 | METROS CUADRADOS |
| ENCHAPE | 2.06 | METROS CUADRADOS |
| CARPINTERIA | 2.00 | METROS LINEALES |
| VENTANERIA | 1.05 | METROS LINEALES |
| MESONES/ GRANITO | 0.70 | METROS LINEALES |
| ASEO | 3.31 | METROS CUADRADOS |

Tabla 24. Resumen de rendimientos de obra TL.

Adicional a los rendimientos presentados en las tablas anteriores (Tablas #23 & #24), dentro del proceso de revisión bibliográfica se encontró un informe de registro del promedio de rendimientos individuales en las diferentes cuadrillas que intervienen en los proceso

constructivo, este informe de referencia constituye en una de las publicaciones más importantes a nivel nacional, la Revista Construdata, quienes en el año 2013 publicaron cifras que permiten realizar un comparativo entre los órdenes de magnitud obtenidos a lo largo de esta investigación versus los promedios nacionales allí registrados. (REVISTA CONSTRUDATA, 2013).

Para realizar el siguiente cuadro comparativo, se tomó un día laboral de 8 horas con el fin de poder presentar todas las cifras relacionadas en las mismas unidades dimensionales.

| ACTIVIDAD | UNIDADES | Construdata (unidades/día) | MDC (unidades/día) | TL (unidades/día) |
|-------------|------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------|
| PINTURA | METROS CUADRADOS | 20 | 8.96 | 10.32 |
| CIELO RASO | METROS CUADRADOS | 10 | 1.76 | 4.08 |
| ENCHAPE | METROS CUADRADOS | 15 | 19.28 | 16.48 |
| CARPINTERIA | METROS LINEALES | 10 | 19.12 | 16 |
| ASEO | METROS CUADRADOS | Relativo | 24.64 | 26.48 |

Tabla 25. Cuadro comparativo de rendimientos entre los registros de Construdata y las obras MDC y TL.

De la tabla anterior (Tabla #25) se puede observar que las actividades de pintura, carpintería y enchape, se encuentran con valores cercanos (en ordenes de magnitud) entre los obtenidos mediante la observación y análisis en comparación con los documentados en la literatura consultada (Revista Construdata), lo cual permite indicar que la medición de los rendimientos de las actividades se encuentra dentro de similares parámetros registrados a nivel Nacional. Particularmente para el caso de la actividad de Aseo, dentro del informe consultado no registra un rendimiento cuantitativo, puesto que se deja el comentario que esta actividad es relativa según las características de los espacios a intervenir, en cuanto a distribución, facilidad de acceso y condiciones iniciales de aseo.

Para las actividades de ventanería e instalación de mesones en granito no se encontró una fuente bibliográfica que sirviera como punto de comparación de rendimientos; aunque se encuentran registros publicados por algunos fabricantes, no se toman en cuenta estas cifras como fuente para comparar las ordenes de magnitud al desconocerse el proceso de obtención de datos y las condiciones en la cuales se realizaron las actividades de instalación.

Pruebas de homogeneidad (test de Levene)

Con el objetivo de poder determinar si es similar, homogénea o no es diferente la variabilidad que se presenta dentro de los rendimientos observados en cada una de las actividades en acabados de obra para los dos proyectos objeto de estudio, se realizó unas pruebas de homogeneidad (test de Levene) usando el software estadístico SPSS y alimentado con los datos de rendimiento de un (1) trabajador por semana, obtenidos previamente mediante el desarrollo de este documento. (MYERS, 2012)

Los resultados de las pruebas de homogeneidad se presentan a continuación, cabe resaltar que nos realizan pruebas comparativas para la actividad de ventanería teniendo en cuenta que los datos obtenidos en el proyecto Mirador del Campo (MDC) fueron descartados al inicio del desarrollo de este proyecto.

Las conclusiones de homogeneidad entre ambos proyectos de construcción están basadas en el análisis de los resultados obtenidos en el P-valor (Sig.) descrito en cada uno de los cuadros resumen.

Pintura

Ho= Las variables que definen los rendimientos en la actividad de Pintura es igual en ambos proyectos observados.

H1= Las variables que definen los rendimientos en la actividad de Pintura es diferente en ambos proyectos observados.

Nivel de Significancia = 5%=0,05

Criterios de análisis:

P<0,05 Rechazo hipótesis nula, acepto hipótesis H1.

Estadísticas de grupo

| | PROYECTO | N | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
|---|----------|----|---------|------------------|----------------------|
| TOTAL UNIDADES/SEMANA POR UN (1) TRABAJADOR | MDC | 85 | 40,8583 | 8,01357 | ,86919 |
| | TL | 75 | 44,0175 | 8,56168 | ,98862 |

Prueba de muestras independientes

| | | Prueba de Levene de igualdad de varianzas | | prueba t para la igualdad de medias | | | | | | |
|---|--------------------------------|---|------|-------------------------------------|---------|------------------|----------------------|------------------------------|--|----------|
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | | | | | Inferior | Superior |
| TOTAL UNIDADES/SEMANA POR UN (1) TRABAJADOR | Se asumen varianzas iguales | ,073 | ,788 | -2,410 | 158 | ,017 | -3,15919 | 1,31092 | -5,74839 | -,57000 |
| | No se asumen varianzas iguales | | | -2,400 | 152,399 | ,018 | -3,15919 | 1,31638 | -5,75991 | -,55848 |

Ilustración 25. Resultados prueba de homogeneidad actividades de Pintura.

Como resultado de la prueba realizada, se obtiene un P valor igual a 0.788, con el cual se puede concluir que las variables que definen los rendimientos en la actividad de Pintura son iguales en ambos proyectos observados.

Cielo Raso

Ho= Las variables que definen los rendimientos en la actividad de Instalación de Cielo Raso es igual en ambos proyectos observados.

H1= Las variables que definen los rendimientos en la actividad de Instalación de Cielo Raso es diferente en ambos proyectos observados.

Nivel de Significancia = 5%=0,05

Criterios de análisis:

P<0,05 Rechazo hipótesis nula, acepto hipótesis H1.

| Estadísticas de grupo | | | | | |
|---|----------|----|---------|------------------|----------------------|
| | PROYECTO | N | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
| TOTAL UNIDADES/SEMANA POR UN (1) TRABAJADOR | MDC | 71 | 6,2128 | 3,03425 | ,36010 |
| | TL | 55 | 10,6810 | 4,67819 | ,63081 |

| Prueba de muestras independientes | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|---|------|--------|--------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|--|----------|
| | | Prueba de Levene de igualdad de varianzas | | | | prueba t para la igualdad de medias | | | | |
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | | | | | Inferior | Superior |
| TOTAL UNIDADES/SEMANA POR UN (1) TRABAJADOR | Se asumen varianzas iguales | 7,536 | ,007 | -6,482 | 124 | ,000 | -4,46821 | ,68936 | -5,83265 | -3,10377 |
| | No se asumen varianzas iguales | | | -6,152 | 87,741 | ,000 | -4,46821 | ,72635 | -5,91174 | -3,02467 |

Ilustración 26. Resultados prueba de homogeneidad actividades de Cielo Raso.

Como resultado de la prueba realizada, se obtiene un P valor igual a 0.007, con el cual se puede concluir que las variables que definen los rendimientos en la actividad de Instalación de Cielo Raso NO son igual en ambos proyectos observados.

Enchape

Ho= Las variables que definen los rendimientos en la actividad de Enchape es igual en ambos proyectos observados.

H1= Las variables que definen los rendimientos en la actividad de Enchape es diferente en ambos proyectos observados.

Nivel de Significancia = 5%=0,05

Criterios de análisis:

P<0,05 Rechazo hipótesis nula, acepto hipótesis H1.

| Estadísticas de grupo | | | | | |
|---|----------|----|---------|------------------|----------------------|
| | PROYECTO | N | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
| TOTAL UNIDADES/SEMANA POR UN (1) TRABAJADOR | MDC | 82 | 87,0222 | 26,00292 | 2,87154 |
| | TL | 71 | 75,9498 | 19,36650 | 2,29838 |

| Prueba de muestras independientes | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|-------|------|-------|---------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|--|----------|
| Prueba de Levene de igualdad de varianzas | | | | | | prueba t para la igualdad de medias | | | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | F | Sig. | t | gl. | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | Inferior | Superior |
| TOTAL UNIDADES/SEMANA | Se asumen varianzas iguales | 6,961 | ,069 | 2,949 | 151 | ,014 | 11,07235 | 3,75512 | 3,65298 | 18,49172 |
| POR UN (1) TRABAJADOR | No se asumen varianzas iguales | | | 3,010 | 147,824 | ,013 | 11,07235 | 3,67808 | 3,80393 | 18,34077 |

Ilustración 27. Resultados prueba de homogeneidad actividades de Enchape.

Como resultado de la prueba realizada, se obtiene un P valor igual a 0.069, con el cual se puede concluir que las variables que definen los rendimientos en la actividad de Instalación de Enchape es igual en ambos proyectos observados.

Carpintería

Ho= Las variables que definen los rendimientos en la actividad de Instalación de Carpintería es igual en ambos proyectos observados.

H1= Las variables que definen los rendimientos en la actividad de Instalación de Carpintería es diferente en ambos proyectos observados.

Nivel de Significancia = 5%=0,05

Criterios de análisis:

$P < 0,05$ Rechazo hipótesis nula, acepto hipótesis H1.

| Estadísticas de grupo | | | | | |
|-----------------------|----------|----|---------|------------------|----------------------|
| | PROYECTO | N | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
| TOTAL UNIDADES/SEMANA | MDC | 41 | 61,5642 | 26,71310 | 4,17188 |
| POR UN (1) TRABAJADOR | TL | 36 | 46,8495 | 11,92857 | 1,98810 |

| Prueba de muestras independientes | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|--------|------|-------|--------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|--|----------|
| Prueba de Levene de igualdad de varianzas | | | | | | prueba t para la igualdad de medias | | | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | F | Sig. | t | gl. | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | Inferior | Superior |
| TOTAL UNIDADES/SEMANA | Se asumen varianzas iguales | 12,184 | ,001 | 3,047 | 75 | ,003 | 14,71479 | 4,82890 | 5,09513 | 24,33445 |
| POR UN (1) TRABAJADOR | No se asumen varianzas iguales | | | 3,184 | 56,878 | ,002 | 14,71479 | 4,62138 | 5,46021 | 23,96937 |

Ilustración 28. Resultados prueba de homogeneidad actividades de Carpintería.

Como resultado de la prueba realizada, se obtiene un P valor igual a 0.001, con el cual se puede concluir que las variables que definen los rendimientos en la actividad de Instalación de Carpintería NO son igual en ambos proyectos observados. Esta diferencia se relaciona con la experiencia de los instaladores, la cual puede influir directamente en las variaciones de rendimiento presentadas en cada uno de los dos escenarios analizados. Es importante resaltar que, aunque gráficamente se evidenciaba una similitud en el comportamiento de esta actividad para ambos proyectos, esta prueba permite determinar estadísticamente que no se comportan de forma homogénea.

Mesones en Granito

Ho= Las variables que definen los rendimientos en la actividad de Mesones en Granito es igual en ambos proyectos observados.

H1= Las variables que definen los rendimientos en la actividad de Mesones en Granito es diferente en ambos proyectos observados.

Nivel de Significancia = 5%=0,05

Criterios de análisis:

P<0,05 Rechazo hipótesis nula, acepto hipótesis H1.

| Estadísticas de grupo | | | | | | | | | |
|---|----------|----|--------|------------------|----------------------|--|--|--|--|
| | PROYECTO | N | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | | | | |
| TOTAL UNIDADES/SEMANA POR UN (1) TRABAJADOR | MDC | 21 | 9,7350 | 4,22761 | ,92254 | | | | |
| | TL | 19 | 8,9809 | 5,40442 | 1,23986 | | | | |

| Prueba de muestras independientes | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|---|------|------|-------------------------------------|------------------|----------------------|------------------------------|--|----------|
| | | Prueba de Levene de igualdad de varianzas | | | prueba t para la igualdad de medias | | | | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | Inferior | Superior |
| TOTAL UNIDADES/SEMANA POR UN (1) TRABAJADOR | Se asumen varianzas iguales | ,611 | ,439 | ,494 | 38 | ,624 | ,75409 | 1,52644 | -2,33602 | 3,84421 |
| | No se asumen varianzas iguales | | | ,488 | 34,054 | ,629 | ,75409 | 1,54542 | -2,38640 | 3,89459 |

Ilustración 29. Resultados prueba de homogeneidad actividades de Mesones en Granito.

Como resultado de la prueba realizada, se obtiene un P valor igual a 0.439, con el cual se puede concluir que las variables que definen los rendimientos en la actividad de Mesones en Granito son igual en ambos proyectos observados.

Aseo

Ho= Las variables que definen los rendimientos en la actividad de Aseo es igual en ambos proyectos observados.

H1= Las variables que definen los rendimientos en la actividad de Aseo es diferente en ambos proyectos observados.

Nivel de Significancia = 5%=0,05

Criterios de análisis:

P<0,05 Rechazo hipótesis nula, acepto hipótesis H1.

| Estadísticas de grupo | | | | | |
|---|----------|----|----------|------------------|----------------------|
| | PROYECTO | N | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
| TOTAL UNIDADES/SEMANA POR UN (1) TRABAJADOR | MDC | 55 | 114,9580 | 32,41983 | 4,37149 |
| | TL | 69 | 99,4787 | 29,28498 | 3,52550 |

| Prueba de muestras independientes | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|---|------|-------|---------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|--|----------|
| | | Prueba de Levene de igualdad de varianzas | | | | prueba t para la igualdad de medias | | | | |
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | | | | | Inferior | Superior |
| TOTAL UNIDADES/SEMANA POR UN (1) TRABAJADOR | Se asumen varianzas iguales | ,617 | ,434 | 2,788 | 122 | ,006 | 15,47927 | 5,55154 | 4,48944 | 26,46910 |
| | No se asumen varianzas iguales | | | 2,756 | 110,101 | ,007 | 15,47927 | 5,61596 | 4,34986 | 26,60868 |

Ilustración 30. Resultados prueba de homogeneidad actividades de Aseo.

Como resultado de la prueba realizada, se obtiene un P valor igual a 0.434, con el cual se puede concluir que las variables que definen los rendimientos en la actividad de Aseo son iguales en ambos proyectos observados.

Funciones del modelo

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas de homogeneidad, aquellas actividades que se comportan de forma similar (homogénea) pueden ser asociadas en un solo análisis con el fin de determinar una única función que describa su comportamiento. A continuación, se presenta la tabla # 26, en la cual se resume el análisis que se realizó mediante el uso del software EXCEL, el cual permite determinar a partir de valor R-cuadrado cual es la mejor función que describe el comportamiento de los datos.

Para los casos de Carpintería y Cielo raso, como el resultado de la prueba de homogeneidad indica que las dos obras observadas no tienen comportamiento similar, se registra en el cuadro una función diferente para cada una de estas actividades según su lugar de ejecución.

| Actividad/Tendencia | Valor de R2 según líneas de tendencia | | | | | Función general |
|---------------------|---------------------------------------|--------|-------------|----------------|-----------|-------------------------------------|
| | Exponencial | Lineal | Logarítmica | Polinómica (2) | Potencial | |
| Pintura | 0.7456 | 0.8315 | 0.8954 | 0.9102 | 0.9052 | $y = -0.0012x^2 + 1.4489x + 23.214$ |
| Cielo Raso MDC | 0.0018 | 0.0019 | 0.00005 | 0.0034 | 0.00002 | $y = 0.00001x^2 - 0.0015x + 13.649$ |
| Cielo Raso TL | 0.0635 | 0.0638 | 0.0744 | 0.0707 | 0.0735 | $y = 0.5689 \ln(x) + 17.222$ |
| Carpintería MDC | 0.7128 | 0.8956 | 0.7423 | 0.8991 | 0.8624 | $y = -0.0008x^2 + 1.5087x + 35.291$ |
| Carpintería TL | 0.9264 | 0.9834 | 0.9324 | 0.9858 | 0.9908 | $y = 4.9645x^{0.7624}$ |
| Ventanería | 0.7559 | 0.8514 | 0.9427 | 0.9497 | 0.9582 | $y = 6.4821x^{0.473}$ |
| Enchape | 0.873 | 0.9149 | 0.8027 | 0.9149 | 0.9256 | $y = 9.3672x^{0.6714}$ |
| Mesones | 0.6494 | 0.8539 | 0.8423 | 0.9263 | 0.8867 | $y = -0.0038x^2 + 0.7758x - 0.6415$ |
| Aseo | 0.7762 | 0.8937 | 0.8572 | 0.9284 | 0.9633 | $y = 12.721x^{0.6884}$ |

Tabla 26. Función general por actividad y valor R2 según línea de tendencia.

Estructura de trabajo de los proyectos observados

A partir de la descomposición de la estructura de trabajo (WBS) suministrada por la Dirección de los proyectos Mirador del Campo y Tierra linda, se genera una descripción específica de los procesos que componen el sistema estudiado (acabados de obra), lo cual permite definir una interrelación entre las actividades fundamentada por las entradas y salidas de los procesos, dependencias, precedencias y recursos compartidos.

En la tabla # 27 se describe una relación de las actividades en función de que tan importante se considera dentro de la obra que para iniciar una actividad se haya culminado al menos en un 90% las actividades relacionadas, teniendo en cuenta que el 10% restante corresponde a

detalles, correcciones y/o ajustes para entrega. (0 no hay relación, 1 relación baja, 2 relación alta).

Cabe resaltar que estas relaciones pueden variar drásticamente dentro del sector de la construcción, puesto que, para algunos casos en particular, los métodos de ejecución están dados por la dirección de obra de los proyectos. Ejemplo de esto se describe en la tabla # 27, donde para la actividad de aplicación de Pintura, la relación es alta con respecto a las actividades de Enchape y Aseo, por lo tanto estas últimas deben estar ejecutadas como mínimo en un 90% al momento de iniciar el proceso de pintura con el fin de no generar riesgo de afectación en los filos, dilataciones o suciedad en las superficies ya terminadas (Pintadas 2ª y 3ª mano), sin embargo no es tan importante que las actividades de Cielo Raso e instalación de Mesones en Granito se encuentren finalizadas o iniciadas, puesto que estas no afectan directamente la ejecución y calidad de la actividad Pintura, por lo tanto su relación es baja.

Igual sucede con las demás actividades observadas, para las cuales se describe un nivel de incidencia entre ellas; los cambios en estos niveles de incidencia se presentan muy a menudo según las necesidades del proyecto, como por ejemplo nuevamente tomando el caso de la aplicación de pintura, en su momento durante la ejecución de los proyectos no era indispensable contar con la ventanería instalada, pero se pueden presentar determinados casos en la gerencia tome la decisión de realizar ambas actividades de forma simultánea, con el fin de reducir el riesgo de afectaciones por lluvia y polvo dentro de los apartamentos si la condiciones climáticas así lo requieren.

| RELACION DE ACTIVIDADES | | | | | | | |
|-------------------------|---------|------------|---------|-------------|------------|---------------------|------|
| ACTIVIDADES/RELACION | PINTURA | CIELO RASO | ENCHAPE | CARPINTERIA | VENTANERIA | MESONES/ GRANITO | ASEO |
| PINTURA | X | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| CIELO RASO | | X | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| ENCHAPE | | | X | 2 | 2 | 1 | 1 |
| CARPINTERIA | | | | X | 2 | 2 | 1 |
| VENTANERIA | | | | | X | 0 | 1 |
| MESONES/ GRANITO | | | | | | X | 0 |
| ASEO | | | | | | | X |

| RELACIÓN | COMENTARIOS |
|----------|---|
| 0 | No interfieren |
| 1 | Pueden hacerse al tiempo pero no es recomendable |
| 2 | Requiere de haber finalizado la anterior actividad según precedencias |

Tabla 27. Relación de las actividades en función de la importancia de precedencia.

A continuación, se encuentra la matriz de precedencias, en donde se relacionan el conjunto de actividades observadas en un orden lógico en términos de precedencias y ocurrencia, teniendo en cuenta el modo de ejecución de los proyectos MDC y TL. Nuevamente es importante hacer énfasis en el hecho que estas precedencias pueden cambiar en función a las preferencias y modos de construcción de los ejecutores de los proyectos, junto con la relación de actividades la cual puede ser modificada en caso que se requiera acelerar los procesos asumiendo los riesgos que esto pueda generar.

| MATRIZ DE PRECEDENCIAS | | |
|------------------------|---------------------|-------------|
| IDENTIFICACION | ACTIVIDAD | PRECEDENCIA |
| AC1 | ENCHAPE | - |
| AC2 | CIELO RASO | AC1 |
| AC3 | PINTURA | AC1, AC2 |
| AC4 | CARPINTERIA | AC3 |
| AC5 | VENTANERIA | AC3, AC4 |
| AC6 | MESONES/ GRANITO | AC4 |
| AC7 | ASEO | - |

Tabla 28. Matriz de precedencias

El siguiente diagrama (Figura # 31) describe gráficamente el flujo de actividades teniendo en cuenta la relación de precedencias definidos en la tabla # 28:

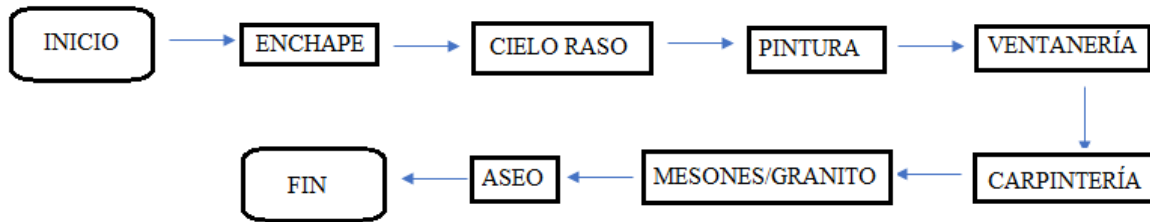


Ilustración 31. Diagrama de precedencias acabados de obra'

Caracterización y Análisis de la estructura del Modelo

Dentro del proceso de desarrollo de la metodología de planeación y control dinámico se debe realizar una caracterización del sistema, en la cual se identifican y se describen las actividades, las variables que intervienen en el comportamiento del modelo, los recursos y las relaciones de dependencia que se generan dentro del sistema. (D. KALENATIC, L. MANCERA, K. MORENO, L. GONZALEZ, 2011).

En la siguiente imagen (Ilustración 32) se muestra de forma general la caracterización del sistema, se debe tener en presente que para cada actividad se cuenta con un recurso renovable independiente (horas disponibles), así como los trabajadores que corresponden a la variable controlable son exclusivos para cada actividad.

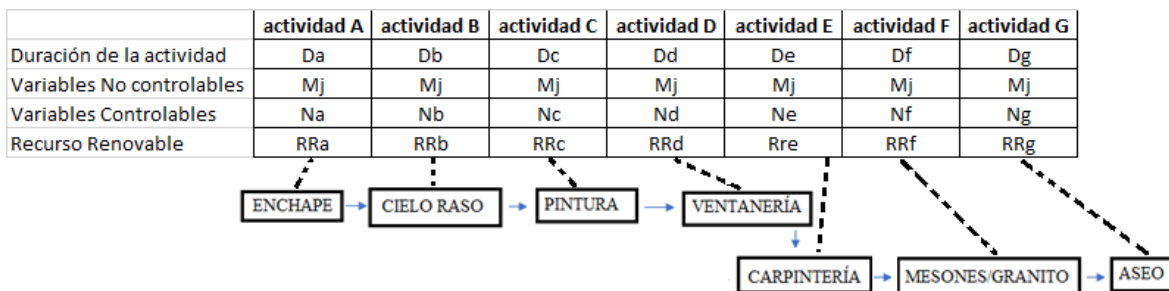


Ilustración 32. Caracterización general del sistema.

Donde

D_i corresponde a la función de duración final de la actividad i

M_j corresponde a la merma dadas por las variables no controlables j

N_i Número de trabajadores en la actividad i

RR_i Horas diarias disponibles para ejecutar labores en la actividad i

Conjuntos

i : actividad, $i=a,b,c,\dots,g$

j : merma tipo, $j=1,2,3$

A continuación (Ilustración 33), se muestra el análisis causal para el cambio de modo, mediante un diagrama causa efecto general de las posibles causas que puede generar un atraso en el cronograma de entrega de una actividad. (Diagrama de Ishikawa).

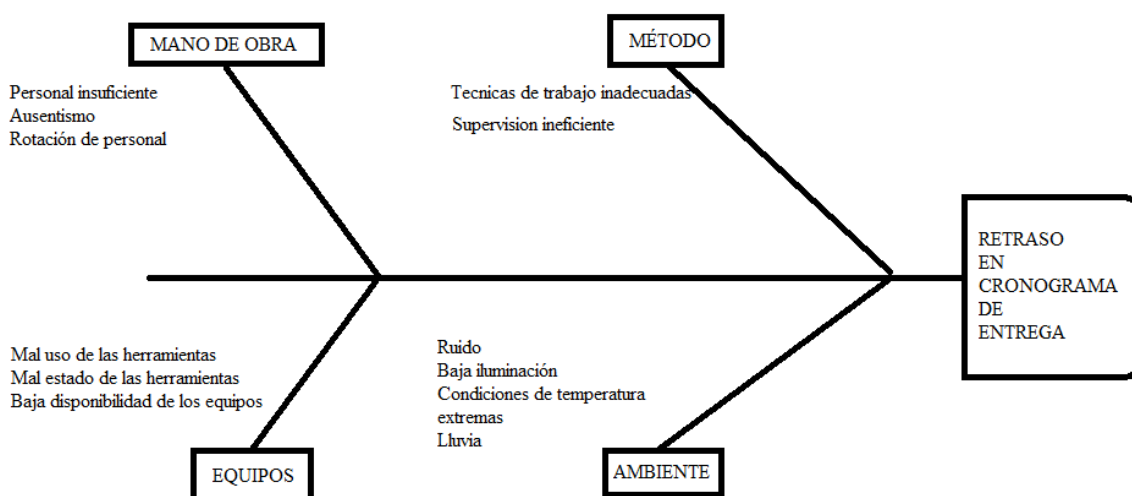


Ilustración 33. Diagrama Ishikawa, análisis causal para el cambio de modo.

Basados en el diagrama de Ishikawa de causa y efecto se define el cambio de modo como una de las mejores alternativas para disminuir los retrasos en el cronograma de ejecución y entrega de las actividades de acabados de obra. Las causas de equipos y método no forman parte del alcance de este documento por lo tanto no se pueden ejercer alternativas basadas en estas áreas, es por esta razón que dentro del modelo únicamente se toman en cuenta aspectos relacionados con la mano de obra y el entorno en el que se desarrollan las actividades.

Para en caso de Mano de obra, el ausentismo se elimina dentro del modelo mediante la presunción que el número requerido de trabajadores y su permanencia en obra va a ser constante teniendo en cuenta la cantidad requerida para un instante de tiempo. Para la rotación de personal no se toma en cuenta la curva de aprendizaje de los trabajadores la cual ya hace parte de los cálculos de rendimiento iniciales y las funciones que describen el comportamiento de las actividades; se entiende con esto que los trabajadores adicionales mantendrán un rendimiento en función al establecido inicialmente.

Por último se encuentra como causa de retraso en el cronograma la falta de personal, esto corresponde al cambio de modo definido, en el cual para este documento y modelo consiste en la adición de un trabajador durante el tiempo que el sistema lo requiera manteniendo las funciones de rendimiento y la injerencia de las variables no controlables.

Respecto a las causas denominadas Ambiente, estas son tenidas en cuenta según su distribución de probabilidad definida al inicio de este documento, cuya influencia repercute directamente en el avance de cada una de las actividades de acabados analizadas.

El cambio de modo se encuentra directamente relacionado con los bucles de retroalimentación del modelo, estos permiten que el sistema modifique algunas de sus variables (# de trabajadores) con el fin de compensar los retrasos que se generan dentro de su operación, permitiendo acelerar la actividad hasta que se alcance un equilibrio dado por las políticas de control.

El siguiente diagrama (Ilustración 34) corresponde al bucle de retroalimentación modelado para una actividad, se debe tener en cuenta que este se replica en todas las actividades del modelo general.

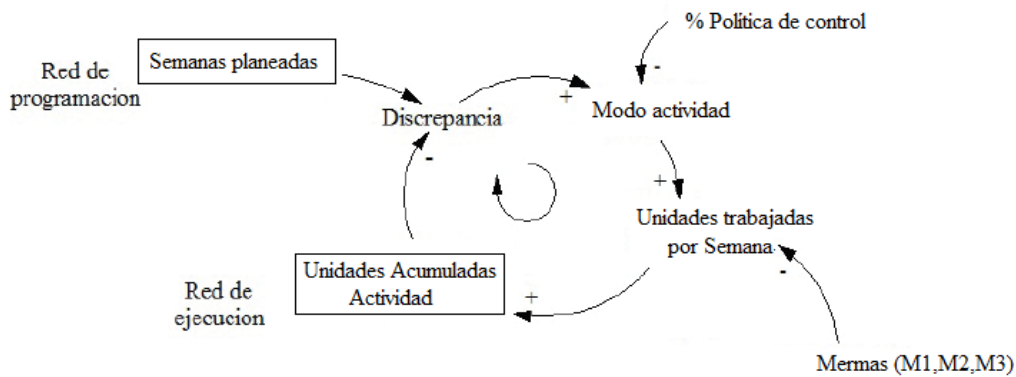


Ilustración 34. Bucle de retroalimentación modelado para una actividad, Adaptado de (L. GONZALEZ, D. KALENATIC, K. MORENO, 2012), Figura 1

La imagen anterior (Ilustración 34) indica que a medida que se disminuye el avance de obra dado por el rendimiento, se debe generar aumento en el número de trabajadores, lo cual aumenta las unidades trabajadas hasta que se logre cumplir con las políticas de control definidas y así lograr estabilizar el sistema nuevamente.

En la imagen (Ilustración 35) se muestra la estructura del modelo general para las actividades analizadas, cabe resaltar que todas las seis (6) actividades adicionales presentan la misma estructura.

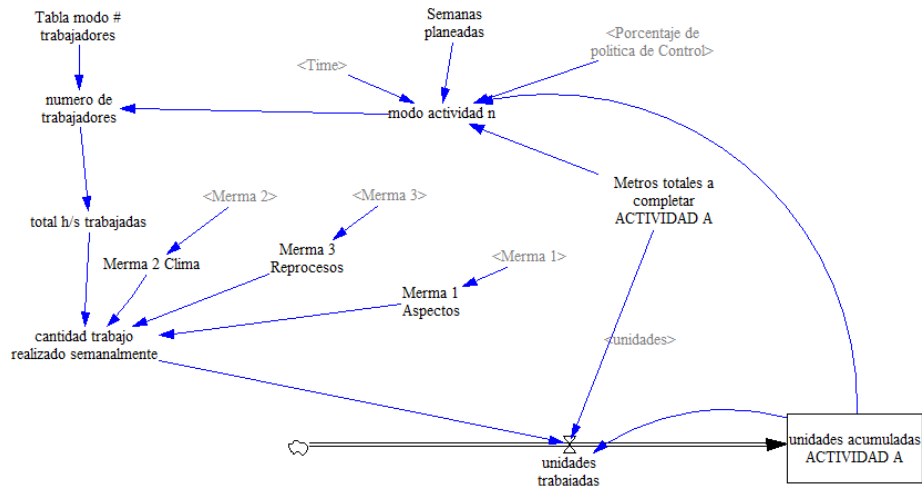


Ilustración 35. Estructura del modelo general para las actividades de acabados

Dentro de esta estructura se definen los modos de operación en la variable “Tabla modo # trabajadores”.

La variable “número de trabajadores” determina la cantidad de trabajadores ejecutando la actividad en función de los modos definidos inicialmente y el estado actual del sistema dado por los bucles de retroalimentación.

“Cantidad trabajo realizado semanalmente” relaciona la función de rendimiento de la actividad con la injerencia de las tres variables no controlables (Mermas) definidas inicialmente, esta variable corresponde al insumo de operación de la tasa “unidades trabajadas”, la cual opera hasta el punto de las “Unidades acumuladas” para que la actividad “n” no superen los metros totales a completar requeridos.

La realimentación del sistema se genera en la variable “modo actividad n”, la cual relaciona las semanas planeadas para la ejecución de la actividad, con el avance de la misma en tiempo real, este cálculo se asocia con la política de control definida para la simulación y da como resultado si se debe o no cambiar de modo a partir de ese momento.

Por último, dentro del proceso de caracterización del sistema previa a la simulación, a continuación (Ilustración 36), se encuentra la representación Forrester de la dependencia de las actividades de acabados de obras analizadas dentro de este documento, esta imagen esta basada en la definición de precedencias dada por la WBS, sin embargo, únicamente se muestra la correspondiente a las tres primeras actividades (Enchape-Cielo Raso- Pintura).

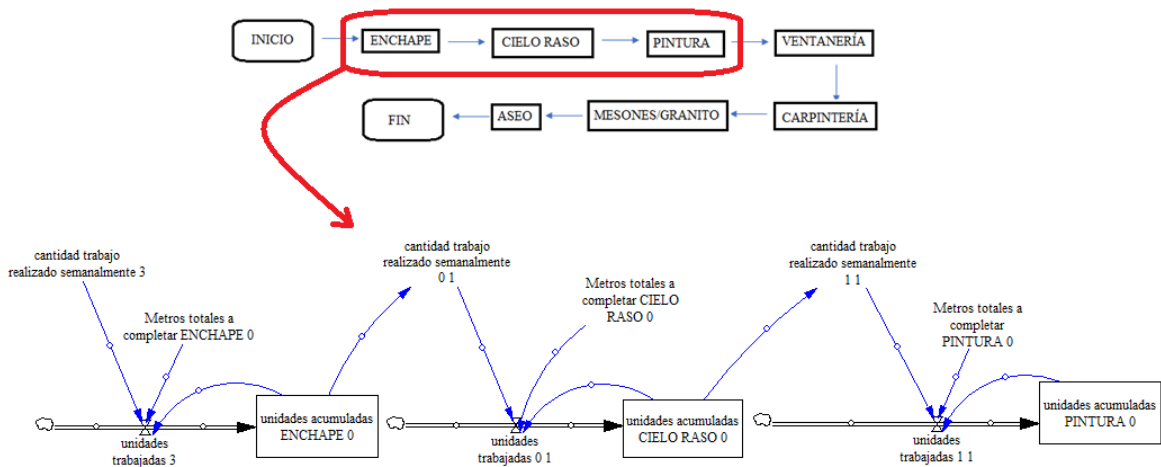


Ilustración 36. Representación Forrester de la dependencia de las actividades de acabos de obras

Dentro de la Variable cantidad de trabajo se incluye el efecto de las variables no controlables y el número de trabajadores teniendo en cuenta el modo de operación, así mismo las actividades siguientes inician su ejecución cuando se complete su predecesora teniendo cuenta un condicional definido por los metros totales a completar y las unidades acumuladas para cada actividad.

Restricciones del Modelo

Partiendo de las restricciones dada por la estructura de trabajo que define las precedencias de las actividades, a continuación, se presentan una serie de restricciones y consideraciones particulares para cada una de las actividades observadas. Cabe resaltar que estas restricciones toman en cuenta las áreas disponibles de trabajo y las dimensiones totales de las unidades de vivienda.

Pintura

Número máximo de trabajadores permitidos en obra de forma simultánea: 10 trabajadores; en consideración a las entrevistas a los directores de obra de los proyectos observados, los registros de asistencia de los contratistas y a la experiencia del autor, no se recomienda tener en obra un número mayor a 10 trabajadores ejerciendo actividades de pintura en proyectos de las características asociadas a los descritos a lo largo de este documento, esto a raíz que se puede generar una saturación de personal en las áreas a intervenir pues la experiencia indica que no contarán con un espacio libre de intervención, debido que el proyecto no avanzará a una velocidad tal que les permita a las actividades anteriores entregar los espacios adecuados para iniciar con la aplicación de la pintura si se superase este número máximo de trabajadores en obra.

Cielo Raso

Número máximo de trabajadores permitidos en obra de forma simultánea: 6 trabajadores; dadas las características de los apartamentos o unidades de vivienda analizados en este documento, se pueden conformar tres (3) frentes de trabajo compuesto por dos personas cada uno como un máximo operativo, esto a raíz que se puede generar una saturación de personal en las áreas a intervenir pues la experiencia indica que no contarán con un espacio libre de intervención, debido que el proyecto no avanzara a una velocidad tal que les permita contar con espacios adecuados para iniciar con la instalación de los marcos de soporte, los paneles y la aplicación de la pintura sobre los cielos rasos si se superase este número máximo de trabajadores en obra.

Enchape

Número máximo de trabajadores permitidos en obra de forma simultánea: 4 trabajadores; teniendo en cuenta los espacios tan reducidos donde se realizan estas operaciones, principalmente en baños, cocinas y patios, se restringe a un máximo de 4 trabajadores en obra de forma simultánea, puesto que de superar este número su avance será significativo y es posible que genere tiempos muertos en comparación a las actividades a las cuales la instalación del enchape corresponde a una precedencia. Es importante tener en cuenta que dentro de este número de trabajadores únicamente se debe tener en cuenta a las personas destinadas exclusivamente a actividades al interior de los apartamentos, puesto que se pueden presentar actividades de mayor magnitud en puntos fijos y otras áreas comunes las cuales no hacen parte del desarrollo de este estudio.

Carpintería

Número máximo de trabajadores permitidos en obra de forma simultánea: 4 trabajadores; al ser una actividad cuya materia prima corresponde a un elemento prefabricado en este caso en particular, su instalación está determinada por factores ajenos al objeto de este documento, tales como la calidad de vanos en los espacios definidos, la disponibilidad del material y la experticia del instalador, por tal razón, se define que dos cuadrillas (2) de dos personas (2) trabajando en forma simultánea en obra corresponden al número máximo según lo observado en los proyectos objeto de estudio.

Ventanería

Número máximo de trabajadores permitidos en obra de forma simultánea: 6 trabajadores; al igual que sucede con las actividades cuya materia prima corresponde a elementos prefabricados fuera del proyecto (Carpintería y Mesones en granito), su instalación está determinada por factores ajenos al objeto de este documento, tales como la calidad de vanos en los espacios definidos, la disponibilidad del material y la experticia del instalador, por tal razón, se define que tres cuadrillas (3) de dos personas (2) trabajando en forma simultánea en obra corresponden al número máximo según lo observado en los proyectos objeto de estudio.

Mesones en granito

Número máximo de trabajadores permitidos en obra de forma simultánea: 4 trabajadores; este elemento corresponde a un prefabricado fuera del proyecto, con actividades menores dentro de la obra debido a su naturaleza, sin embargo depende en gran medida de la correcta instalación de los muebles sobre los cuales reposarán los mesones y la facilidad de transporte y distribución de las materias primas dentro de la obra, es por estas razones que se considera que una vez iniciada la instalación de la carpintería, dos (2) cuadrillas de dos (2) personas corresponden al número máximo de personas que se deben destinar en obra para la ejecución de la actividad. Esto con el fin de no saturar los espacios y no generar tiempos muertos entre actividades.

Aseo

Número máximo de trabajadores permitidos en obra de forma simultánea: 6 trabajadores; este número corresponde a un estimado basado únicamente en las entrevistas a los directores de obra de los proyectos observados, los registros de asistencia de los contratistas y a la experiencia del autor, puesto que los requerimientos en la actividad de aseo están sujetos al avance de las demás actividades y el estado inicial del espacio al momento de iniciar los trabajos, por lo tanto se recomienda un máximo de dos (2) cuadrillas de tres (3) personas para la ejecución de esta actividad.

Existe una restricción de horario común para todas las actividades, la cual es general dentro de todos los proyectos por disposiciones legales a nivel nacional, esta restricción se describe como:

Cantidad máxima de horas trabajadas por semana: 48 horas semanales; se recomienda este número de horas semanales con el objeto de no incurrir en sobrecostos de horas extra, lo cual se convertiría en una variable adicional que afectaría directamente el presupuesto y no hace parte del objeto de estudio de este proyecto.

Para las restricciones en el número máximo de personas se toma en cuenta los espacios disponibles dentro de los apartamentos y la posibilidad de no incurrir en sobrecostos al

contratar personal que permanecerá inoperante o que genere tiempos muertos entre la finalización de una actividad y el inicio de la actividad consecuente.

Modos y Políticas de control

Los modos especifican los parámetros de operación del sistema, estos se definieron con el objeto de poder comparar el escenario modelado bajo diferentes condiciones de funcionamiento, para ello se realizan modificaciones en la cantidad de trabajadores disponibles para cada actividad (1 – 2 trabajadores según el modo). Las funciones que describen el modelo permanecen constantes, al igual que la cantidad máxima de horas laborables por cada trabajador a la semana (48 horas semanales) y la totalidad de trabajo requerido la cual está definida por las dimensiones de los espacios a intervenir.

Para la cantidad de trabajo requerido, se toma como ejemplo el total de trabajo por torre a construir (8 apartamentos por piso X 5 pisos = 40 apartamentos por torre), así mismo se usan dimensiones de un apartamento (unidad de vivienda) del proyecto Mirador del Campo, cuyas características se muestran a continuación (tabla # 29); así mismo en el modelo se utilizan únicamente las funciones del proyecto MDC para los casos de Carpintería y Cielo Raso.

| MIRADOR DEL CAMPO | | | |
|--------------------------|-----------------|-----------------|---|
| ACTIVIDADES | UNIDADES | CANTIDAD | TOTAL DE TRABAJO REQUERIDO POR TORRE |
| PINTURA | m2 | 68 | 2720 |
| CIELO | m2 | 2.05 | 82 |
| ENCHAPE | m2 | 21.5 | 860 |
| CARPINTERIA MADERA | ml | 9.5 | 380 |
| VENTANERIA | ml | 9.2 | 368 |
| MESONES EN GRANITO | ml | 3.5 | 140 |
| ASEO | m2 | 68 | 2720 |

Tabla 29. Cantidades de obra a ejecutar por torre en Mirador del Campo.

La tabla # 30 indica los diferentes modos de operación (2 modos por actividad) del sistema.

| TABLA DE MODOS POR ACTIVIDAD DE ACABADOS | | | | | |
|---|---|-------------------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| Pintura | $y = -0.0012x^2 + 1.4489x + 23.214$ | | | | |
| | # trabajadores | Horas totales trabajadas por semana | Rendimiento por semana | Total de trabajo requerido | Duración estimada de finalización en semanas |
| Modo 1 | 1 | 48 | 90.00 | 2720 | 30 |
| Modo 2 | 2 | 96 | 151.25 | 2720 | 18 |

| Cielo Raso MDC | $y = 0.00001x^2 - 0.0015x + 13.649$ | | | | |
|-----------------------|---|-------------------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| | # trabajadores | Horas totales trabajadas por semana | Rendimiento por semana | Total de trabajo requerido | Duración estimada de finalización en semanas |
| Modo 1 | 1 | 48 | 13.55 | 82 | 6 |
| Modo 2 | 2 | 96 | 13.60 | 82 | 6 |

| Cielo Raso TL | $y = 0.5689\ln(x) + 17.222$ | | | | |
|----------------------|---|-------------------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| | # trabajadores | Horas totales trabajadas por semana | Rendimiento por semana | Total de trabajo requerido | Duración estimada de finalización en semanas |
| Modo 1 | 1 | 48 | 19.42 | 82 | 4 |
| Modo 2 | 2 | 96 | 19.82 | 82 | 4 |

| Enchape | $y = 9.3672x^{0.6714}$ | | | | |
|----------------|--|-------------------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| | # trabajadores | Horas totales trabajadas por semana | Rendimiento por semana | Total de trabajo requerido | Duración estimada de finalización en semanas |
| Modo 1 | 1 | 48 | 126.01 | 860 | 7 |
| Modo 2 | 2 | 96 | 200.68 | 860 | 4 |

| Carpintería MDC | $y = -0.0008x^2 + 1.5087x + 35.291$ | | | | |
|------------------------|---|-------------------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| | # trabajadores | Horas totales trabajadas por semana | Rendimiento por semana | Total de trabajo requerido | Duración estimada de finalización en semanas |
| Modo 1 | 1 | 48 | 105.87 | 380 | 4 |
| Modo 2 | 2 | 96 | 172.75 | 380 | 2 |

| Carpintería TL | $y = 4.9645x^{0.7624}$ | | | | |
|-----------------------|--|-------------------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| | # trabajadores | Horas totales trabajadas por semana | Rendimiento por semana | Total de trabajo requerido | Duración estimada de finalización en semanas |
| Modo 1 | 1 | 48 | 94.98 | 380 | 4 |
| Modo 2 | 2 | 96 | 161.12 | 380 | 2 |

| Ventanería | $y = 6.4821x^{0.473}$ | | | | |
|-------------------|---|-------------------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| | # trabajadores | Horas totales trabajadas por semana | Rendimiento por semana | Total de trabajo requerido | Duración estimada de finalización en semanas |
| Modo 1 | 1 | 48 | 40.45 | 368 | 9 |
| Modo 2 | 2 | 96 | 56.15 | 368 | 7 |

| Mesones | $y = -0.0038x^2 + 0.7758x - 0.6415$ | | | | |
|----------------|---|-------------------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| | # trabajadores | Horas totales trabajadas por semana | Rendimiento por semana | Total de trabajo requerido | Duración estimada de finalización en semanas |
| Modo 1 | 1 | 48 | 27.84 | 140 | 5 |
| Modo 2 | 2 | 96 | 38.81 | 140 | 4 |

| Aseo | $y = 12.721x^{0.6884}$ | | | | |
|-------------|--|-------------------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| | # trabajadores | Horas totales trabajadas por semana | Rendimiento por semana | Total de trabajo requerido | Duración estimada de finalización en semanas |
| Modo 1 | 1 | 48 | 182.76 | 2720 | 15 |
| Modo 2 | 2 | 96 | 294.52 | 2720 | 9 |

Tabla 30. Modos de operación del sistema

Inicialmente se simula el modelo sin el efecto de las variables No controlables y un valor de 0 (0%) en la variable “Porcentaje de política de control”. Los valores de inicio y finalización de actividades resultados de esta simulación corresponden a los inicialmente planeados y se conocerá como el modelo base (Tabla #31).

A continuación, se describen las políticas de control a evaluar; estas corresponden al criterio de decisión para el cambio de modo el cual permite determinar los tiempos de inicio y finalización de las actividades a partir de cambios en las variables del modelo.

Estas políticas están regidas por las restricciones descritas anteriormente en este documento, con el fin de no generar saturaciones en el sistema que generen tiempos muertos en alguna actividad.

Los costos generados a partir de la implementación de las políticas de control ejecutadas deben ser comparados con los sobrecostos que se puede incurrir por los retrasos en los tiempos de finalización y entrega de las unidades de vivienda, esto permite determinar la viabilidad económica de la implementación de cada política:

1. Una vez alcanzada la fecha inicialmente planeada por cada actividad, esta debe estar completa en al menos un 80%, en caso contrario, se genera una contingencia que corresponde a un cambio de modo en todas actividades que no cumplan con esta condición.
2. Una vez alcanzada la fecha inicialmente planeada por cada actividad, esta debe estar completa en al menos un 90%, en caso contrario, se genera una contingencia que corresponde a un cambio de modo en todas actividades que no cumplan con esta condición.
3. Una vez alcanzada la fecha inicialmente planeada por cada actividad, esta debe estar completa en al menos un 95%, en caso contrario, se genera una contingencia que corresponde a un cambio de modo en todas actividades que no cumplan con esta condición.
4. Una vez alcanzada la fecha inicialmente planeada por cada actividad, esta debe estar ejecutada al 100%, en caso contrario, se genera una contingencia que corresponde a un cambio de modo en todas actividades que no cumplan con esta condición.

Descripción del desarrollo Metodología integral y Dinámica

La metodología íntegra y dinámica se fundamenta en la hipótesis que se puede realizar una combinación entre técnicas analíticas y numéricas con el fin de obtener resultados con una mayor perspectiva en cuanto al desarrollo de la problemática que se busca solucionar. Dentro de la aplicación de esta metodología se definen dos fases, las cuales su desarrollo a lo largo de este documento se describe a continuación:

Fase Técnica, tiene como objetivo el definir la relación entre el sistema estudiado, la problemática definida y las técnicas de análisis utilizadas junto con sus posibles combinaciones con el fin de abordar una solución integral. (L. GONZALEZ, D. KALENATIC, K. MORENO, 2012)

- 1- Definición del sistema: Dentro del desarrollo de esta etapa, se definen dos variables controlables: Cantidad de trabajadores y avance semanal (rendimiento), así mismo se definieron tres variables no controlables entre las que se encuentran aspectos ambientales, los reprocesos y el clima, para cada uno de estos se determinó la probabilidad de ocurrencia y su efecto directo dentro de las variables controlables.

Así mismo se define la interacción y correlación de las actividades que intervienen dentro del proceso de acabados de obra observado, para el cual se describen las funciones que gobiernan el comportamiento de cada una de estas actividades, teniendo en cuenta las restricciones propias del sistema y el escenario de simulación.

Se toma en cuenta como supuestos para el desarrollo de este documento que no se presenta una injerencia de variables adicionales a las mencionadas inicialmente, tanto en las controlables (2) como en las no controlables (3); es decir que aspectos como el clima laboral, tipo de supervisión en obra y disponibilidad de materiales, entre otras, no representan una afectación en el comportamiento de las variables definido a través de la caracterización inicialmente dada.

- 2- Identificar los problemas ligados al sistema: Dentro de los procesos constructivos en Colombia, se presentan una serie de variaciones en cuanto a los rendimientos y avances de obra, los cuales están directamente relacionados con unas variables de tipo endógeno propias del desarrollo de las actividades y exógenas relacionadas con el entorno en el cual se desarrollan los proyectos de vivienda. Dentro del desarrollo de este documento se definieron dos variables controlables las cuales corresponden al Número de Trabajadores y al Avance Semanal de obra, estas muestran una relación directa debido que la variable Avance Semanal de obra se ve directamente influenciada por la cantidad de trabajadores que se encuentren realizando la actividad

de forma simultánea; así mismo el comportamiento de las tres variables no controlables definidas, ejercen unos cambios en el rendimiento de las actividades los cuales obligan a modificar los valores iniciales de las variables controlables con el fin de poder lograr los objetivos planteados inicialmente para el sistema.

- 3- Identificar las técnicas clásicas: Mediante técnicas de observación y transcripción de datos de ingreso de personal, análisis de rendimientos suministrados por la interventoría de los proyectos y entrevista con expertos (Interventores y directores de obra), se realizó el proceso de recolección de datos necesario para el desarrollo de este documento;

Los procesos de análisis de datos bivariado, pruebas de homogeneidad, pruebas de normalidad, descripción de los flujos de trabajo, definición de actividades, descripción/caracterización de variables y análisis gráfico de tendencias (Regresiones), corresponden a las técnicas analíticas y numéricas utilizadas a lo largo del desarrollo de este documento.

- 4- Análisis de complementariedad de las técnicas Analíticas y numéricas: A lo largo del documento se presenta una serie de relaciones entre las diferentes técnicas aplicadas, los análisis bivariados de variables controlables definidas inicialmente, se complementan con las pruebas de normalidad y los test de homogeneidad con el fin de poder determinar en cuales actividades se puede simplificar y agrupar el manejo de los datos obtenidos, así mismo sus resultados permiten describir cuales son los elementos que generan diferencias entre el comportamiento de las actividades para ambas obras observadas.
- 5- Definición de problemas y prioridades: El análisis gráfico de tendencias junto con la entrevista de expertos permite determinar cuáles pueden ser las causas de los diferentes comportamientos de las actividades definidos por su función o línea de tendencia, puesto que esta función por si sola, no permite determinar cuáles pueden ser las causas en las variaciones de su comportamiento. Así mismo esta combinación

de técnicas analíticas como numéricas, permite determinar las restricciones del modelo asociadas a los puntos de saturación de cada una de las actividades.

La combinación de las técnicas de análisis de datos adicional a la caracterización de los datos y la determinación de las funciones de comportamiento de las actividades de acabados objetos de estudio, permite homogeneizar los datos obtenidos con el fin de poder generalizar los resultados a un entorno específico, esto permite que los resultados obtenidos mediante los procesos de implementación de este modelo se puedan extrapolar a entornos similares a los descritos a lo largo de este documento.

Fase Organizacional

Esta etapa se enfoca en la aplicación de la metodología en el contexto organizacional de la empresa, esto permite determinar el nivel organizativo particular al cual se debe asociar cada una de las problemáticas definidas en el proyecto. (L. GONZALEZ, D. KALENATIC, K. MORENO, 2012)

- 1- Determinar el problema concreto a resolver: El problema principal radica en los tiempos reales de finalización de actividades y los diferentes rendimientos de los contratistas de acabados en obras, así mismo como la definición de los factores externos que pueden interferir directamente en el avance de las actividades. Este análisis se inicia partiendo de los tiempos de operación en función de las horas hombre trabajadas. Así mismo se busca diseñar un modelo de planeación y control de acabados en obras civiles enfocado al sector de la construcción de vivienda No VIS en Colombia, teniendo como fuente el análisis de datos obtenidos dos obras ubicadas en municipios aledaños a la ciudad de Bogotá.
- 2- Determinar el nivel organizativo actual de la empresa: La problemática que se busca solucionar corresponde a un nivel Táctico medio dentro de la pirámide organizacional, corresponde a una mejora en la coordinación de las actividades operativas las cuales deben estar ligadas con las políticas y estrategias definidas por el nivel superior estratégico.

- 3- Traducción del problema al lenguaje de los diferentes miembros del equipo: a lo largo del desarrollo del documento, se presenta la definición de los términos específicos utilizados, junto con la descripción de las variables y conceptos propios al desarrollo del modelo.
- 4- Determinar la información disponible como base para solución del problema: se cuenta con acceso a la información de control de avance de obra dentro de periodos determinados inicialmente, junto con las planillas de ingreso de personal las cuales permiten determinar el tiempo en obra de cada uno de los trabajadores. Así mismo se cuenta con los conceptos y entrevistas de los expertos involucrados en el desarrollo de los proyectos de construcción de vivienda objeto de estudio, los cuales permiten determinar las variables exógenas del sistema.
- 5- Determinar alcances en relación a la solución del problema a corto, mediano y largo plazo: Se genera un modelo de control de rendimiento de actividades en acabados de obra para el cual se identifican previamente dos variables controlables, tres variables aleatorias y una variable de respuesta, así como determinar en qué medida estas variables permiten describir el comportamiento y los cambios de los rendimientos en actividades de acabados de obra en los proyectos de construcción de vivienda NO VIS para los dos proyectos objetos de estudio. A corto plazo permite tomar decisiones inmediatas como contingencia de retrasos en la terminación de las unidades de vivienda. Por otra parte, a mediano y largo plazo, el modelo genera información base para la planeación de futuros proyectos de construcción con características similares, tales como funciones de rendimiento, inferencia de agentes externos, variables no controlables y políticas de control.
- 6- Aplicación Fase Técnica: la aplicación de esta fase se define anteriormente en la descripción de la fase técnica.

- 7- Implementación de las soluciones obtenidas: Al no encontrarse dentro del alcance de este documento los procesos de implementación del modelo, no se puede tener una conclusión específica para este ítem.

RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Los resultados de evaluación del Modelo base se registran a continuación en la tabla 31.

| MODELO BASE | | | | |
|---------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|
| ACTIVIDAD | INICIO PROGRAMADO (Semana #) | INICIO REAL (Semana #) | FIN PROGRAMADO (Semana #) | FIN REAL (Semana #) |
| Enchape | 0 | 0 | 7 | 7 |
| Aseo 1a mano | 7 | 7 | 22 | 22 |
| Cielo raso | 22 | 22 | 28 | 28 |
| Pintura | 28 | 28 | 58 | 58 |
| Ventanería | 58 | 58 | 67 | 67 |
| Aseo 2a mano | 67 | 67 | 82 | 82 |
| Carpintería | 82 | 82 | 86 | 86 |
| Mesones | 86 | 86 | 91 | 91 |
| Aseo 3ra mano | 91 | 91 | 106 | 106 |

Tabla 31. Resultados simulación del modelo base.

Se define el inicio del modelo en la semana cero (0) y la finalización de las actividades está influenciada únicamente por la función de rendimiento de las mismas, lo cual permite determinar que en proceso de planeación el tiempo de finalización de todo el proyecto está definido en 106 semanas a partir del inicio de ejecución de la actividad de Enchape. Dentro de esta simulación no se presenta cambio de modo en ninguna de las actividades, por lo tanto, se cuenta con un (1) único trabajador en cada actividad; esta simulación corresponde a un comportamiento ideal del sistema al no ser afectado por variables no controlables, se presenta como un punto de comparación para evaluar la viabilidad de la implementación de las políticas de control.

Al corresponder al escenario planeado, esta simulación no genera ningún sobre costo en cuanto a mano de obra adicional o a tiempos adicionales de finalización de actividades.

A continuación, se presentan los resultados de las evaluaciones de las cuatro (4) políticas de control definidas. En cada una de ellas se determina los tiempos de inicio y finalización de las actividades de acabados de obra analizadas a lo largo de este documento. Adicional se muestra el costo asociado a la implementación de la política partiendo del valor del salario promedio de un oficial de obra en la actualidad (COMPUTRABAJO COLOMBIA, 2019).

La fuente de la cual se toma el dato de salario promedio mensual para un oficial de obra corresponde a uno de los portales de búsqueda de empleo más reconocidos a nivel Nacional.

$$\text{Salario Promedio mensual de un oficial en Colombia} = \$1'650.000$$

$$\text{Costo semanal por trabajador adicional} = \$412.500$$

Ecuación 3. fuente www.computrabajo.com.co

Este costo semanal por cada trabajador adicional que se genera al cambiar el modo de operación no incluye los costos administrativos asociados a los requisitos de ley referente a pago de parafiscales y Aseguradora de riesgos profesionales.

Se debe tener en cuenta que las cantidades de obra a ejecutar y las funciones de rendimiento por actividad permanecen constantes a lo largo de las diferentes evaluaciones de las políticas realizadas, estos valores corresponden a parámetros constantes dentro del escenario modelado.

Los valores de las multas o penalidades que deben pagar las Constructoras en Colombia por concepto de incumplimiento en la fecha de entrega de un inmueble corresponden a una información sensible y específica de cada proyecto, por consiguiente, no se encuentra registrada en este documento.

Para la evaluación de la Primera política, se realizó el cambio del valor de la variable “Porcentaje de política de Control” a 0.8 (80%). Adicional se toma en cuenta la influencia de las tres (3) variables no controlables definidas. En la tabla 32 se registran los resultados de la evaluación del modelo bajo la política de control #1.

| POLITICA DE CONTROL # 1 | | | | | | |
|-------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------|
| ACTIVIDAD | INICIO PROGRAMADO (Semana #) | INICIO REAL (Semana #) | FIN PROGRAMADO (Semana #) | FIN REAL (Semana #) | CAMBIO DE MODO (Cantidad de semanas) | COSTO ADICIONAL |
| Enchape | 0 | 0 | 7 | 8 | 0 | \$ - |
| Aseo 1a mano | 7 | 8 | 22 | 25 | 0 | \$ - |
| Cielo raso | 22 | 25 | 28 | 32 | 3 | \$ 1,237,500 |
| Pintura | 28 | 32 | 58 | 65 | 0 | \$ - |
| Ventanería | 58 | 65 | 67 | 73 | 4 | \$ 1,650,000 |
| Aseo 2a mano | 67 | 73 | 82 | 87 | 3 | \$ 1,237,500 |
| Carpintería | 82 | 87 | 86 | 91 | 2 | \$ 825,000 |
| Mesones | 86 | 91 | 91 | 95 | 3 | \$ 1,237,500 |
| Aseo 3ra mano | 91 | 95 | 106 | 110 | 2 | \$ 825,000 |
| COSTO TOTAL | | | | | | |
| ADICIONAL | | | | | | \$ 7,012,500 |

Tabla 32. Resultados Política de Control 1

La implementación de esta política genera un cambio de modo en 17 semanas, lo cual corresponde a la adición de un trabajador durante este tiempo; esta política representa un sobrecosto total de \$7'012.500. Como lo muestra la tabla 32, la implementación de esta política permite terminar el proyecto dentro del plazo de 110 semanas, representando un retraso de 4 semanas en la fecha de entrega.

Para la evaluación de la segunda política, se realizó el cambio del valor de la variable “Porcentaje de política de Control” a 0.9 (90%). En la tabla 33 se registran los resultados de la evaluación del modelo bajo la política de control #2.

| POLITICA DE CONTROL # 2 | | | | | | |
|-------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------|
| ACTIVIDAD | INICIO PROGRAMADO (Semana #) | INICIO REAL (Semana #) | FIN PROGRAMADO (Semana #) | FIN REAL (Semana #) | CAMBIO DE MODO (Cantidad de semanas) | COSTO ADICIONAL |
| Enchape | 0 | 0 | 7 | 8 | 0 | \$ - |
| Aseo 1a mano | 7 | 8 | 22 | 24 | 1 | \$ 412,500 |
| Cielo raso | 22 | 24 | 28 | 31 | 2 | \$ 825,000 |
| Pintura | 28 | 31 | 58 | 62 | 2 | \$ 825,000 |
| Ventanería | 58 | 62 | 67 | 71 | 3 | \$ 1,237,500 |
| Aseo 2a mano | 67 | 71 | 82 | 85 | 3 | \$ 1,237,500 |
| Carpintería | 82 | 85 | 86 | 88 | 2 | \$ 825,000 |
| Mesones | 86 | 88 | 91 | 93 | 2 | \$ 825,000 |
| Aseo 3ra mano | 91 | 93 | 106 | 109 | 1 | \$ 412,500 |
| COSTO TOTAL | | | | | | |
| ADICIONAL | | | | | | \$ 6,600,000 |

Tabla 33. Resultados Política de Control 2

La implementación de esta política genera un cambio de modo en 16 semanas distribuidas en las diferentes actividades de acabados según el avance semanal del proyecto. El cambio

de modo o la adición de un trabajador durante este tiempo representa un sobre costo total de \$6'600.000, sin embargo, como se muestra en la tabla 33, el implementar esta política genera que el proyecto no se pueda entregar dentro del plazo inicial de las 106 semanas, por lo tanto, se tendría adicional un sobre costo asociado a la penalidad referente a 3 semanas de retraso en la finalización y entrega de la unidad de vivienda al cliente.

Para la evaluación de la tercera política, se realizó el cambio del valor de la variable “Porcentaje de política de Control” a 0.95 (95%). En la tabla 34 se registran los resultados de la evaluación del modelo bajo la política de control #3.

| POLITICA DE CONTROL # 3 | | | | | | |
|-------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|
| ACTIVIDAD | INICIO PROGRAMADO (Semana #) | INICIO REAL (Semana #) | FIN PROGRAMADO (Semana #) | FIN REAL (Semana #) | CAMBIO DE MODO (Cantidad de semanas) | COSTO ADICIONAL |
| Enchape | 0 | 0 | 7 | 8 | 0 | \$ - |
| Aseo 1a mano | 7 | 8 | 22 | 24 | 1 | \$ 412,500 |
| Cielo raso | 22 | 24 | 28 | 31 | 2 | \$ 825,000 |
| Pintura | 28 | 31 | 58 | 62 | 3 | \$ 1,237,500 |
| Ventanería | 58 | 62 | 67 | 71 | 3 | \$ 1,237,500 |
| Aseo 2a mano | 67 | 71 | 82 | 85 | 3 | \$ 1,237,500 |
| Carpintería | 82 | 85 | 86 | 88 | 2 | \$ 825,000 |
| Mesones | 86 | 88 | 91 | 93 | 2 | \$ 825,000 |
| Aseo 3ra mano | 91 | 93 | 106 | 108 | 2 | \$ 825,000 |
| | | | | | COSTO TOTAL | |
| | | | | | ADICIONAL | \$ 7,425,000 |

Tabla 34. Resultados Política de Control 3

Como se observa en la tabla 34, la implementación de esta política genera un cambio de modo durante 18 semanas distribuidas a lo largo de todo el proyecto en las diferentes actividades de acabados. Acelerar el modelo mediante el cambio de modo representa un sobre costo total de \$7'425.000 y un retraso en el tiempo de finalización de la unidad de vivienda de 2 semanas; aunque se sigue presentando un desfase de tiempo entre la programación inicial y la simulada con la política de control #3, este desfase disminuye en una semana con respecto a la política #2. El aumento en el costo de la implementación de esta política se debe a la necesidad de acelerar el modelo por un periodo de tiempo más prolongado.

Por último, se realiza la evaluación del modelo bajo la cuarta política de control, los resultados se resumen en la tabla 35.

| POLITICA DE CONTROL # 4 | | | | | | |
|-------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------|
| ACTIVIDAD | INICIO PROGRAMADO (Semana #) | INICIO REAL (Semana #) | FIN PROGRAMADO (Semana #) | FIN REAL (Semana #) | CAMBIO DE MODO (Cantidad de semanas) | COSTO ADICIONAL |
| Enchape | 0 | 0 | 7 | 8 | 0 | \$ - |
| Aseo 1a mano | 7 | 8 | 22 | 24 | 2 | \$ 825,000 |
| Cielo raso | 22 | 24 | 28 | 31 | 3 | \$ 1,237,500 |
| Pintura | 28 | 31 | 58 | 62 | 4 | \$ 1,650,000 |
| Ventanería | 58 | 62 | 67 | 71 | 4 | \$ 1,650,000 |
| Aseo 2a mano | 67 | 71 | 82 | 85 | 3 | \$ 1,237,500 |
| Carpintería | 82 | 85 | 86 | 88 | 2 | \$ 825,000 |
| Mesones | 86 | 88 | 91 | 93 | 2 | \$ 825,000 |
| Aseo 3ra mano | 91 | 93 | 106 | 108 | 2 | \$ 825,000 |
| | | | | | COSTO TOTAL | |
| | | | | | ADICIONAL | \$ 9,075,000 |

Tabla 35. Resultados Política de Control 4

Esta cuarta política corresponde a la menos flexible en cuanto a la cantidad de trabajadores que se debe tener en obra al momento de presentarse un retraso, está definida de tal forma que una vez se alcance el tiempo planeado de finalización de una actividad, si esta no se encuentra completamente terminada inmediatamente se incluya a un trabajador adicional con el fin de acelerar el sistema.

Comúnmente se esperaría que implementar la política #4 corresponde a la mejor estrategia para solventar el problema de los retrasos en el proyecto, sin embargo, tal como lo muestra la tabla 35, el sobre costo por acelerar el proyecto es de \$9'075.000, pero el tiempo de finalización (semana 108) es el mismo que el presentado en la tabla 34 correspondiente a la política # 3, por tal razón se puede determinar que la política de control # 4 no presenta mayores beneficios que la política #3. También se puede visualizar en la siguiente tabla (tabla 35), la cual muestra las unidades acumuladas (metros cuadrados acumulados) en las últimas semanas de simulación para las cuatro políticas implementadas.

Con un total de unidades a completar para esta actividad de Aseo de 3ra Mano de 2720 metros cuadrados, se evidencia que la política # 3 y #4 el avance por semana es el mismo durante el periodo final del proyecto (últimas semanas), por lo tanto, refuerza la teoría que la inversión adicional en sobre costos de la política # 4 no genera un mayor beneficio para el proyecto.

| Time (Week) | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| unidades acumuladas ASEO 3 MANO : Política 4 | 1869.66 | 2034.15 | 2180.36 | 2471.94 | 2760.57 | 2760.57 | 2760.57 |
| unidades acumuladas ASEO 3 MANO : Política 3 | 1869.66 | 2034.15 | 2180.36 | 2471.94 | 2760.57 | 2760.57 | 2760.57 |
| unidades acumuladas ASEO 3 MANO : Política 2 | 1869.66 | 2034.15 | 2180.36 | 2471.94 | 2651.04 | 2806.39 | 2806.39 |
| unidades acumuladas ASEO 3 MANO : Política 1 | 1549.83 | 1714.31 | 1860.52 | 2152.1 | 2440.73 | 2596.08 | 2778.84 |

Tabla 36. Fragmento tabla unidades acumuladas 3ra mano.

Como ya se mencionó anteriormente la evaluación final de cual política genera un mejor beneficio económico para el proyecto dependerá de las condiciones de la negociación que se da entre los clientes y la Empresa Constructora, es en ese documento (promesa de compraventa) donde se conoce realmente cual es valor de la penalidad por retraso en los tiempos de entrega de los inmuebles, permitiendo generar un valor final de la implementación de las políticas aquí propuestas.

A continuación, se presenta un resumen de la evaluación de las cuatro políticas.

| POLÍTICA | SOBRECOSTO CAMBIO DE MODO | TIEMPO DE RETRASO FINAL |
|-----------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Política #1 | \$ 7,012,500 | 4 semanas |
| Política #2 | \$ 6,600,000 | 3 semanas |
| Política #3 | \$ 7,425,000 | 2 semanas |
| Política #4 | \$ 9,075,000 | 2 semanas |

Tabla 37. Tabla resumen evaluación políticas

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Respecto al objetivo general fue posible generar un modelo de planeación y control para las actividades de acabados en obra definidas, este modelo es alimentado por una serie de variables determinadas a través del análisis de la información obtenida en los proyectos observados. Mediante la aplicación de la Dinámica de sistemas y Gestión de proyectos, se logró estimar los tiempos de finalización de cada una de las políticas de control que se propusieron, junto con los sobrecostos que se generan a partir de la implementación de las mismas; en la siguiente tabla #38 se presenta los resultados de la implementación de las políticas de control, junto con sus sobre costos relacionados con el aumento en el número de trabajadores (cambio de modo) y los tiempos de finalización de los proyectos; así mismo, como ejercicio académico se tiene en cuenta una penalidad asociada al atraso semanal en la

entrega de la unidad de vivienda al cliente final, este valor se determina a partir del canon de arrendamiento promedio para las unidades de vivienda observadas en este documento en el año 2017 (\$800.000 mensuales), para el cual se asume que se cuenta con una torre de 40 apartamentos totalmente vendidos y que el 50% de los clientes exigen que se les indemnice con el valor del arriendo que dejan de recibir semanalmente por concepto de la demora en la entrega final.

Unidades de vivienda totales: 40

Valor prom. canon de arrendamiento mensual: \$800.000

Valor prom. canon semanal (igual a la penalidad semanal por apartamento): \$200.000

Unidades de vivienda que solicitan indemnización: 20 (50%)

| POLÍTICA | TIEMPO DE FINALIZACION DEL PROYECTO | SOBRECOSTO CAMBIO DE MODO | TIEMPO DE RETRASO FINAL | PENALIDAD HIPOTÉTICA POR ATRASO EN ENTREGA |
|-----------------|--|----------------------------------|--------------------------------|---|
| Política base | 106 semanas | \$ - | 0 | \$ - |
| Política #1 | 110 semanas | \$ 7.012.500 | 4 semanas | \$ 16.000.000 |
| Política #2 | 109 semanas | \$ 6.600.000 | 3 semanas | \$ 12.000.000 |
| Política #3 | 108 semanas | \$ 7.425.000 | 2 semanas | \$ 8.000.000 |
| Política #4 | 108 semanas | \$ 9.075.000 | 2 semanas | \$ 8.000.000 |

Tabla 38. Tabla resumen resultados simulación – políticas de control

Como se puede observar en la tabla #38, los cuatro escenarios simulados exceden el tiempo planeado inicialmente para la ejecución del proyecto (106 semanas), independiente de la posibilidad de acelerar los proyectos mediante el aumento en el número de trabajadores ejecutando actividades, siempre se presenta una afectación de las variables no controlables las cuales retrasan el avance del proyecto, esto permite concluir que dentro los procesos de planeación de proyectos futuros, se debe tener en cuenta la inferencia de las variables no controlables dentro de una holgura en los cronogramas de ejecución de obra, con el fin de reducir los sobrecostos asociados a las penalidad que se incurren por demoras en las entrega de las unidades de vivienda.

En términos prácticos los resultados obtenidos de la simulación se traducen en acciones particulares en base a las necesidades propias de cada organización; Específicamente para el escenario simulado dentro de este documento, se define que con las políticas de control descritas no es posible terminar el proyecto dentro del plazo inicialmente estipulado (106 semanas), por lo tanto, en el caso que esto sea un requerimiento indispensable, se deben diseñar nuevos modos de operación en los cuales se aumente gradualmente la cantidad de trabajadores ejecutando actividades de forma simultánea, teniendo en cuenta que no se sobrepasen los puntos de saturación del sistema. Es claro que este aumento en el personal genera un sobre costo en el proyecto el cual debe ser evaluado directamente con las implicaciones que conlleva el entregar las obras fuera de lo proyectado.

Por otra parte, si el proyecto cuenta con una holgura dentro del cronograma de entrega de las viviendas, se pueden mantener tanto los modos como las políticas de control descritas inicialmente y evaluar la alternativa más conveniente en cuanto al tamaño en la holgura de tiempo disponible y el monto máximo de dinero disponible en el ítem de contingencias e imprevistos del proyecto.

Por medio de un análisis estadístico a los datos recolectados y la información obtenida a través de entrevistas con los directores de los proyectos y la Interventoría, se determinaron las variables controlables (número de trabajadores - avance semanal) y no controlables (Aspectos ambientales – Clima – Reprocesos) de las cuales se analizaron sus características y comportamiento a fin de poder ser incluidas en el modelo final presentado.

El análisis de los dos proyectos estudiados permitió determinar los rendimientos reales en cada uno de ellos y así mismo definir las funciones matemáticas que describen el comportamiento de las actividades de acabados de obra observados. Fue posible determinar que en las actividades de Pintura, Enchape, Mesones en Granito y Aseo se comportaron de forma homogénea o similar en ambos proyectos, permitiendo generalizar un único modo de operación para estas actividades; las similitudes de estas actividades en ambas obras observadas están relacionadas con la distribución de los espacios y las dimensiones de las áreas de trabajo a intervenir, esto permite que las cuatro actividades mencionadas anteriormente muestren un comportamiento similar en cuanto al rendimiento semanal, lo cual se encuentra soportado por las pruebas de homogeneidad realizadas y contenidas en este

documento, dando como resultado una única función que describe el comportamiento en términos de rendimiento para estas cuatro actividades de acabados de obra.

Por otra parte, se encontraron diferencias en la ejecución de tres actividades para los dos proyectos observados, estas actividades no se comportan de forma homogénea en ambos proyectos, sin embargo, cada una de estas diferencias pueden ser descritas de forma independiente.

La actividad de Cielo Raso presentó en ambos proyectos una gran cantidad de variaciones en el número de trabajadores y el tiempo de permanencia de estos es obra, este se pudo evidenciar mediante el proceso de obtención y transcripción de la información de ingreso de personal realizado en la primera parte del desarrollo de este documento; así mismo las variaciones en los rendimiento semanales están ligadas con los reprocesos que se generaron para esta actividad debido a la mala calidad en la ejecución de las actividades según las observaciones realizadas y comentarios realizados por el personal de Dirección de obra e interventoría de los proyectos.

Para el caso de la actividad de Carpintería, las diferencias presentadas en ambas obras se relaciona con la habilidad y experticia de los trabajadores que ejecutaron las labores de instalación, y temas no relacionados dentro de este documento como son los acabados en los vanos y las superficies en las cuales se debía ejecutar esta actividad; el acabado de las superficies y vanos es una actividad relacionada con los procesos de obra estructura y obra gris, los cuales no fueron tenidos en cuenta para el desarrollo de este documento.

Por último, para la actividad de Ventanería no se realizó un proceso de comparación entre ambos proyectos, teniendo en cuenta que para el proyecto Mirador del Campo se presentaron una serie de sucesos inconvenientes con el contratista de esta actividad, los cuales no permitieron obtener una información verídica relacionada con los rendimientos y avance de la instalación de la ventanería en las unidades de vivienda. Por esta razón dentro del desarrollo del documento, únicamente se tuvo en cuenta los datos relacionados con el proyecto Tierra Linda.

El determinar estos valores de rendimiento permitió realizar una comparación con los publicados en una de las revistas más reconocidas a nivel nacional para el sector de la

Construcción, a través de este proceso se identificaron las diferencias que se presentan entre los valores de rendimiento documentados, pero concluyendo que se mantienen los órdenes de magnitud entre los resultados del proceso de análisis de datos y los consultados en la bibliografía especializada. Una de las diferencias entre los resultados documentados y los obtenidos se relacionan principalmente con los procesos de obtención de la información y las variables analizadas.

Dentro de la publicación no se describe cual fue el proceso que se llevó a cabo para el cálculo de los rendimientos registrados, al igual que es de esperarse que se tuvo en cuenta una mayor cantidad de variables externas debido a la facilidad de acceso en la información con la que cuenta una publicación de este tipo y reconocimiento. Adicional al aspecto documental y al acceso de la información, otra de las diferencias radica en el aspecto de la ubicación geográfica de los proyectos consultados, mientras este documento hace referencia de dos proyectos ubicados en zonas circundantes de la ciudad de Bogotá, la revista Construdata registra resultados de rendimiento a nivel nacional, para lo cual se entiende que se tuvieron en cuenta datos de varias ubicaciones a lo largo del territorio Colombiano, las cuales varían en aspectos como la facilidad o dificultad de acceso a la mano de obra, aspectos climáticos y culturales entre otros.

Por ultimo otro aspecto que influye en la diferencia entre los resultados registrados en la bibliografía consultada y los obtenidos a lo largo del desarrollo de este documento se relaciona con la complejidad en la distribución de los espacios a intervenir por cada actividad, teniendo en cuenta que para espacios con distribuciones complejas (gran cantidad de esquinas, formas irregulares, cambios en las alturas de las unidades de vivienda, etc.) el rendimiento no va a ser el mismo que en espacios más simples (áreas abiertas tipo Loft, alturas constantes entre piso-techo, muebles sin geometrías complejas).

El modelo desarrollado a través de la metodología integral y dinámica muestra semana a semana el avance que se tiene con cada una de las actividades definidas dentro de la estructura de desglose de trabajo (WBS), esta información permite llevar un control de obra en función de su rendimiento real y la influencia de las variables exógenas no controlables. La secuencia de las actividades en este proyecto puede ser modificada en cualquier momento teniendo en cuenta las necesidades y las características propias de cada proyecto, sin embargo, el modelo

aquí presentado representa una secuencia lógica basada en los procesos constructivos que se utilizan a nivel nacional.

Las variables aquí definidas como No controlables son propias de los proyectos observados, estas se definen respecto a la ubicación geográfica para los casos de clima y aspectos ambientales. La facilidad de acceso y calidad de la mano de obra son factores que influyen en la variable de Reprocesos.

En el momento de realizar una implementación del modelo aquí propuesto, es necesario realizar una validación de las condiciones del entorno del proyecto, con el fin de poder determinar si es posible utilizar los mismos valores definidos en este documento.

El definir y evaluar las políticas de control permiten obtener datos vitales para la dirección del proyecto; las cuatro políticas presentadas muestran costos diferentes dentro de su implementación cada una adecuándose a diferentes necesidades, como por ejemplo la política #2, en cuyo caso si se toma el supuesto que tres (3) semanas de atraso no representan ninguna penalidad para la empresa, esta sería la opción más viable a tomar al generar un menor sobre costo.

Los modos definidos a lo largo del documento corresponden a valores experimentales que permiten visualizar los cambios que suceden en el funcionamiento del modelo cuando se modifica uno de los parámetros de operación (cantidad de trabajadores), en caso que se desee realizar su implementación a nuevos proyectos, no es común encontrar que para construir 40 unidades de vivienda se tenga estipulado cuadrillas de una o dos personas, por lo tanto estos modos deben ser ajustados a las características propias del nuevo proyecto en cuanto a la cantidad de mano de obra disponible para cada una de las actividades de acabados descritas.

El éxito en la implementación de esta metodología se basa en un estricto seguimiento al avance de obra semanal, permitiendo a la gerencia del proyecto tomar decisiones oportunas y planes de choque con los diferentes contratistas, con el fin de poder predecir la necesidad de una mayor cantidad de obra para actividades futuras o identificar la reducción en el rendimiento de las actividades que se están siendo ejecutadas.

El desarrollo e implementación del modelo le permite a la Gerencia de los proyectos contar con información necesaria para tomar decisiones oportunas con el fin de mitigar los sobrecostos dentro de la ejecución de los proyectos. La herramienta brinda información que le indica a los Directivos si se requiere aumentar el personal con el fin de poder acelerar los procesos, por cuanto tiempo debe realizarse este cambio y cuáles son los sobrecostos asociados a este aumento de personal. Dentro de esta alternativa de solución a los retrasos de obra, el modelo permite determinar cuál es el punto de saturación del sistema en relación a la cantidad de trabajadores ejecutando labores en simultaneo por actividad, punto en el cual el incremento en la cantidad de trabajadores no refleja un aumento en el rendimiento semanal de la actividad, lo cual corresponde a un factor de alarma que indica que a partir de ese instante se debe empezar a evaluar otras alternativas diferentes al aumento de personal, tales como la calidad en la mano de obra, cambios en los procesos constructivos, cantidad y/o duración de turnos o en caso extremo un posible cambio de contratista.

Como recomendación para futuros trabajos relacionados con el desarrollo de este modelo, se espera que se pueda incluir variables adicionales a las mencionadas y descritas a lo largo de este documento; tener en cuenta temas de clima laboral, ausentismo, calidad de la supervisión, uso de las herramientas y equipos, disponibilidad de los materiales entre otras variables que también pueden intervenir en la ejecución de las actividades le permitirá al modelo ser más robusto y así mismo generar alertas no solamente enfocadas a la operación diaria en campo, sino que pueda incluir aspectos relacionados con el manejo del recurso humano o los procesos logísticos de la organización.

Esta investigación se puede extender a las actividades relacionadas con obra negra y obra gris, las cuales permitirán obtener un panorama más amplio dentro del proceso de implementación de los modelos en las actividades de planeación y control en futuros proyectos de vivienda.

Para la aplicación e implementación de modelo generado es importante realizar un análisis completo de las condiciones del entorno, con el fin de poder garantizar que sean similares a las descritas a lo largo del documento y que los resultados sean coherentes a las características reales de la obra o proyecto en el cual se desee implementar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOTERO, L. (2002). Análisis de Rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción. *Revista Universidad EAFIT*.
- COMPUTRABAJO COLOMBIA. (25 de 11 de 2019). *Salarios Oficial de Obra*. Obtenido de <https://www.computrabajo.com.co/salarios/oficial-de-obra>
- CONSTRUDATA- Legis SA. (2015). Informe especial Mano de obra Ed 174. *Construdata*.
- D. KALENATIC, L. MANCERA, K. MORENO, L. GONZALEZ. (2011). Metodología de planeación logística basada en gestión de proyectos y dinámica de sistemas en empresas prestadoras de servicios. *Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería*, 208-218.
- GONZALES, A. (2006). *Desarrollo de técnicas de minería de datos en procesos industriales*. Universidad La Rioja.
- IFEDOLAPO, H. B. (octubre de 2015). Factors Influencing the performance of construction projects in Akure- Nigeria. *International Journal of Civil Engineering, Construction and Estate Management*, 57-67.
- L. GONZALEZ, D. KALENATIC, K. MORENO. (2012). *Metodología integral y dinámica aplicada a la programación y control de proyectos*. Bogota: Universidad de Antioquia.
- LOPEZ, S. A. (2015). *Análisis de productividad, rendimientos y consumo de mano de obra en procesos constructivos, elemento fundamental en la fase de planeación*. MEDELLIN-COLOMBIA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- MENDOZA, A. (1998). *Capacitación para la calidad y la productividad*. TRILLAS.
- MODESTO, D. G. (2010). *Aplicación de la metodología integral y dinámica a la gestión de proyectos de construcción de edificaciones bajo condiciones de incertidumbre*. Chia: Universidad de la Sabana.
- MONROY, S. (2008). *Estadística Descriptiva*. MEXICO DF: INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.
- MYERS, W. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Pearson.
- N, J. A. (2015). *Planeación de proyectos de ingeniería*. Mexico DF: NORIEGA EDITORES.
- P.LEWIS, J. (2001). *Project, planning, scheduling & control*. McGraw Hill.

- PACHECO, G. (2017). *Gerencia Fundamental de Proyectos*. Chia-Colombia: Universidad de la Sabana.
- PAGE, J. S. (2000). *Estimator's general construction man-hour manual*. Gulf Professional Publishing.
- PUCHOL, L. (2007). *Dirección y gestión de Recursos Humanos*. Madrid- España: Diaz de Santos.
- REVISTA CONSTRUDATA. (2013). Informe especial mano de obra. *Construdata*.
- SAAD B.S AHAMAD. (2015). *A review of performance measurement for successful concurrent construction*. ScienceDirect.
- SERPELL, A. (2015). *Planificación y control de proyectos*. Santiago de Chile: EDICIONES U CATOLICA DE CHILE.
- SUAREZ, Y. R. (2009). Herramientas de Minería de Datos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas RCCI*, 74-80.

ANEXOS

Anexo #1 Prueba de Normalidad

Mediante el uso del Software estadístico SPSS se realizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov, la cual permite determinar a través de una prueba de hipótesis si los datos obtenidos mediante el proceso de observación para las actividades de acabados de obra siguen una distribución normal; a continuación, se presentan los resultados obtenidos en la prueba de Normalidad realizada para cada una de las actividades de acabados analizadas. Los resultados correspondientes a la actividad de Pintura fueron presentados anteriormente como ejemplo dentro del documento, por consiguiente, no se registran nuevamente.

Los datos fueron segmentados dentro del software con el fin de poder presentar los resultados de manera independiente para cada una de las obras observadas.

Proyecto 1 corresponde a los datos de Mirador del Campo.

Proyecto 2 corresponde a los datos de Tierra Linda.

Todas las pruebas realizadas tienen en común un criterio de análisis basado en el resultado obtenido para el P-valor (Sig. asintótica(bilateral)) emitido por el Software. La hipótesis nula, la hipótesis del investigador, en nivel de significancia también es igual para el análisis de cada una de las actividades de acabados de obra.

Ho= Los datos analizados tienen una distribución Normal.

H1= Los datos analizados tienen una distribución diferente a la Normal.

Nivel de Significancia = 5%=0,05

Criterios de análisis: $P < 0,05$ Rechazo hipótesis nula (Ho), acepto hipótesis del investigador (H1).

Teniendo en cuenta lo anterior, la conclusión común dentro de este proceso de prueba de Normalidad es: tanto para el Proyecto 1 y 2, el P-valor (Sig. asintótica(bilateral)) es mayor a 0.05 lo cual permite aceptar la hipótesis nula (Ho) de normalidad la cual describe que: Los datos analizados tienen una distribución Normal.

Resultados prueba de Kolmogórov-Smirnov para la actividad de Aseo:

```

GET DATA
  /TYPE=XLSX
  /FILE='\\Client\C$\Users\SERGIO\Pruebas SPSS HOMOGENEIDAD\DATOS DE
INGRESO.xlsx'
  /SHEET=name 'Aseo'
  /CELLRANGE=FULL
  /READNAMES=ON
  /DATATYPEMIN PERCENTAGE=95.0
  /HIDDEN IGNORE=YES.
EXECUTE.
DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.
SORT CASES BY PROYECTO.
SPLIT FILE SEPARATE BY PROYECTO.
NPAR TESTS
  /K-S (NORMAL) =TOTALUNIDADESSEMANAPORUN1TRABAJADOR
  /MISSING ANALYSIS.

```

PROYECTO = 1

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMA NA POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|---|
| N | | 55 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 114,95798318217 4050 |
| | Desv. Desviación | 32,419834473767 830 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,089 |
| | Positivo | ,089 |
| | Negativo | -,068 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,200 ^{d,e} |

a. PROYECTO = 1

b. La distribución de prueba es normal.

c. Se calcula a partir de datos.

d. Corrección de significación de Lilliefors.

e. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

PROYECTO = 2

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMA NA POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|---|
| N | | 69 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 99,478709454796 |
| | Desv. Desviación | 29,284983024119 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,071 |
| | Positivo | ,062 |
| | Negativo | -,071 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,200 ^{d,e} |

a. PROYECTO = 2

b. La distribución de prueba es normal.

c. Se calcula a partir de datos.

d. Corrección de significación de Lilliefors.

e. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Resultados prueba de Kolmogórov-Smirnov para la actividad de Carpintería:

```
GET DATA
  /TYPE=XLSX
  /FILE='\\Client\C$\Users\SERGIO\Pruebas SPSS HOMOGENEIDAD\DATOS DE
INGRESO.xlsx'
  /SHEET=name 'Carpinteria'
  /CELLRANGE=FULL
  /READNAMES=ON
  /DATATYPEMIN PERCENTAGE=95.0
  /HIDDEN IGNORE=YES.

EXECUTE.

DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.

SORT CASES BY PROYECTO.

SPLIT FILE SEPARATE BY PROYECTO.

NPAR TESTS
  /K-S (NORMAL) =TOTALUNIDADESSEMANAPORUN1TRABAJADOR
```

/MISSING ANALYSIS.

PROYECTO = 1

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMA NA POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|---|
| N | | 41 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 61,564247967479 690 |
| | Desv. Desviación | 26,713097259613 250 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,155 |
| | Positivo | ,155 |
| | Negativo | -,097 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,074 ^d |

a. PROYECTO = 1

b. La distribución de prueba es normal.

c. Se calcula a partir de datos.

d. Corrección de significación de Lilliefors.

PROYECTO = 2

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMA NA POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|---|
| N | | 36 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 46,849458333333 340 |
| | Desv. Desviación | 11,928572082174 894 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,130 |
| | Positivo | ,072 |
| | Negativo | -,130 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,131 ^d |

a. PROYECTO = 2

b. La distribución de prueba es normal.

c. Se calcula a partir de datos.

d. Corrección de significación de Lilliefors.

Resultados prueba de Kolmogórov-Smirnov para la actividad de Cielo Raso:

```

GET DATA
  /TYPE=XLSX
  /FILE='\\Client\C$\Users\SERGIO\Pruebas SPSS HOMOGENEIDAD\DATOS DE
INGRESO.xlsx'
  /SHEET=name 'Cielo'
  /CELLRANGE=FULL
  /READNAMES=ON
  /DATATYPEMIN PERCENTAGE=95.0
  /HIDDEN IGNORE=YES.
EXECUTE.
DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.
SORT CASES BY PROYECTO.
SPLIT FILE SEPARATE BY PROYECTO.
NPAR TESTS
  /K-S (NORMAL)=TOTALUNIDADESSEMANAPORUN1TRabajADOR
  /MISSING ANALYSIS.

```

PROYECTO = 1

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SE MANA POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|--|
| N | | 71 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 6,212789671361 500 |
| | Desv. Desviación | 3,034247352075 035 |
| Máximas extremas | diferencias | |
| | Absoluto | ,249 |
| | Positivo | ,249 |
| | Negativo | -,118 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,060 ^d |

a. PROYECTO = 1

b. La distribución de prueba es normal.

c. Se calcula a partir de datos.

d. Corrección de significación de Lilliefors.

PROYECTO = 2

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMA NA POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|---|
| N | | 55 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 10,680996363636 360 |
| | Desv. Desviación | 4,6781866755290 66 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,301 |
| | Positivo | ,301 |
| | Negativo | -,109 |
| Estadístico de prueba | | ,301 |

Sig. asintótica(bilateral) ,100^d

- a. PROYECTO = 2
- b. La distribución de prueba es normal.
- c. Se calcula a partir de datos.
- d. Corrección de significación de Lilliefors.

Resultados prueba de Kolmogórov-Smirnov para la actividad de Enchape:

```
GET DATA
  /TYPE=XLSX
  /FILE='\\Client\C$\Users\SERGIO\Pruebas SPSS HOMOGENEIDAD\DATOS DE
  INGRESO.xlsx'
  /SHEET=name 'Enchape'
  /CELLRANGE=FULL
  /READNAMES=ON
  /DATATYPEMIN PERCENTAGE=95.0
  /HIDDEN IGNORE=YES.
EXECUTE.
DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.
SORT CASES BY PROYECTO.
SPLIT FILE SEPARATE BY PROYECTO.
NPAR TESTS
  /K-S (NORMAL) =TOTALUNIDADESSEMANAPORUN1TRABAJADOR
  /MISSING ANALYSIS.
```

PROYECTO = 1

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMA NA POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|---|
| N | | 82 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 87,022180168408 820 |
| | Desv. Desviación | 26,002915283487 060 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,077 |
| | Positivo | ,077 |
| | Negativo | -,051 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,200 ^{d,e} |

- a. PROYECTO = 1
- b. La distribución de prueba es normal.
- c. Se calcula a partir de datos.
- d. Corrección de significación de Lilliefors.
- e. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

PROYECTO = 2

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMA NA POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|-------|---|
| N | | 71 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 75,949828054996 670 |

| | | |
|------------------------------|------------------|------------------------|
| | Desv. Desviación | 19,366504155338 934 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,094 |
| | Positivo | ,094 |
| | Negativo | -,056 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,193 ^d |

- PROYECTO = 2
- La distribución de prueba es normal.
- Se calcula a partir de datos.
- Corrección de significación de Lilliefors.

Resultados prueba de Kolmogórov-Smirnov para la actividad de Mesones:

```
GET DATA
  /TYPE=XLSX
  /FILE='\\Client\C$\Users\SERGIO\Pruebas SPSS HOMOGENEIDAD\DATOS DE
INGRESO.xlsx'
  /SHEET=name 'Mesones'
  /CELLRANGE=FULL
  /READNAMES=ON
  /DATATYPEMIN PERCENTAGE=95.0
  /HIDDEN IGNORE=YES.
EXECUTE.
DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.
SORT CASES BY PROYECTO.
SPLIT FILE SEPARATE BY PROYECTO.
NPAR TESTS
  /K-S (NORMAL) =TOTALUNIDADESSEMANAPORUN1TRABAJADOR
  /MISSING ANALYSIS.
```

PROYECTO = 1

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMA NA POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|---|
| N | | 21 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 9,7350000000000 01 |
| | Desv. Desviación | 4,2276100008686 29 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,110 |
| | Positivo | ,101 |
| | Negativo | -,110 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,200 ^{d,e} |

- PROYECTO = 1
- La distribución de prueba es normal.
- Se calcula a partir de datos.
- Corrección de significación de Lilliefors.
- Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

PROYECTO = 2

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMA NA POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|---|
| N | | 19 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 8,9809057017543 |
| | Desv. Desviación | 5,4044241991851 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,181 |
| | Positivo | ,181 |
| | Negativo | -,094 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,101 ^d |

a. PROYECTO = 2

b. La distribución de prueba es normal.

c. Se calcula a partir de datos.

d. Corrección de significación de Lilliefors.

Resultados prueba de Kolmogórov-Smirnov para la actividad de Ventanería:

```
GET DATA
  /TYPE=XLSX
  /FILE='\\Client\C$\Users\SERGIO\Pruebas SPSS HOMOGENEIDAD\DATOS DE
INGRESO.xlsx'
  /SHEET=name 'Ventaneria'
  /CELLRANGE=FULL
  /READNAMES=ON
  /DATATYPEMIN PERCENTAGE=95.0
  /HIDDEN IGNORE=YES.
EXECUTE.
DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.
SORT CASES BY PROYECTO.
SPLIT FILE SEPARATE BY PROYECTO.
NPAR TESTS
  /K-S (NORMAL)=TOTALUNIDADESSEMANAPORUN1TRABAJADOR
  /MISSING ANALYSIS.
```

PROYECTO = 1

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMA NA POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|---|
| N | | 41 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 20,311243902439 |
| | Desv. Desviación | 14,221724346737 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,163 |
| | Positivo | ,163 |
| | Negativo | -,117 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,088 ^d |

a. PROYECTO = 1

b. La distribución de prueba es normal.

- c. Se calcula a partir de datos.
- d. Corrección de significación de Lilliefors.

PROYECTO = 2

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^a

| | | TOTAL UNIDADES/SEMA NA POR UN (1) TRABAJADOR |
|------------------------------------|------------------|---|
| N | | 23 |
| Parámetros normales ^{b,c} | Media | 22,860235507246 380 |
| | Desv. Desviación | 9,0163163147629 85 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,174 |
| | Positivo | ,174 |
| | Negativo | -,121 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,068 ^d |

- a. PROYECTO = 2
- b. La distribución de prueba es normal.
- c. Se calcula a partir de datos.
- d. Corrección de significación de Lilliefors.

Anexo # 2 Prueba de tipo de Distribución en variables No controlables.

Mediante el uso del Software estadístico SPSS se realizó la prueba de Bondad y Ajuste, la cual permite determinar la distribución que siguen una serie de datos específicos. A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante la prueba de Uniformidad realizada para cada una de las actividades de acabados analizadas.

Todas las pruebas realizadas tienen en común un criterio de análisis basado en el resultado obtenido para el P-valor (Sig. asintótica(bilateral)) emitido por el Software. La hipótesis nula, la hipótesis del investigador, en nivel de significancia también es igual para el análisis de cada una de las actividades de acabados de obra.

Ho= Los datos analizados tienen una distribución Uniforme.

H1= Los datos analizados tienen una distribución diferente a la Uniforme.

Nivel de Significancia = 5%=0,05

Criterios de análisis: $P < 0,05$ Rechazo hipótesis nula (H_0), acepto hipótesis del investigador (H_1).

```

NPAR TESTS
  /K-S (UNIFORM)=Aspectos_ambientales
  /MISSING ANALYSIS.

```

➔ Pruebas NPar

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

| | | Aspectos_ambientales |
|-------------------------------------|----------|----------------------|
| N | | 5 |
| Parámetros uniformes ^{a,b} | Mínimo | ,10 |
| | Máximo | ,30 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,300 |
| | Positivo | ,300 |
| | Negativo | -,300 |
| Z de Kolmogorov-Smirnov | | ,671 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,759 |

a. La distribución de prueba es uniforme.

b. Se calcula a partir de datos.

Con un P-valor (Sig. Asintónica) de 0.759, se puede concluir que los valores definidos para la probabilidad de los eventos relacionados con la variable Aspectos Ambientales siguen una distribución Uniforme.

```

NPAR TESTS
  /K-S (UNIFORM)=Clima
  /MISSING ANALYSIS.

```

➔ Pruebas NPar

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

| | | Clima |
|-------------------------------------|----------|-------|
| N | | 4 |
| Parámetros uniformes ^{a,b} | Mínimo | ,10 |
| | Máximo | ,40 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,250 |
| | Positivo | ,250 |
| | Negativo | -,250 |
| Z de Kolmogorov-Smirnov | | ,500 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,964 |

- a. La distribución de prueba es uniforme.
b. Se calcula a partir de datos.

Con un P-valor (Sig. Asintónica) de 0.964, se puede concluir que los valores definidos para la probabilidad de los eventos relacionados con la variable Clima siguen una distribución Uniforme.

```

NPAR TESTS
  /K-S (UNIFORM)=Reprocesos
  /MISSING ANALYSIS.

```

➔ Pruebas NPar

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

| | | Reprocesos |
|-------------------------------------|----------|------------|
| N | | 4 |
| Parámetros uniformes ^{a,b} | Mínimo | ,025 |
| | Máximo | ,700 |
| Máximas diferencias extremas | Absoluto | ,491 |
| | Positivo | ,491 |
| | Negativo | -,250 |
| Z de Kolmogorov-Smirnov | | ,981 |
| Sig. asintótica(bilateral) | | ,290 |

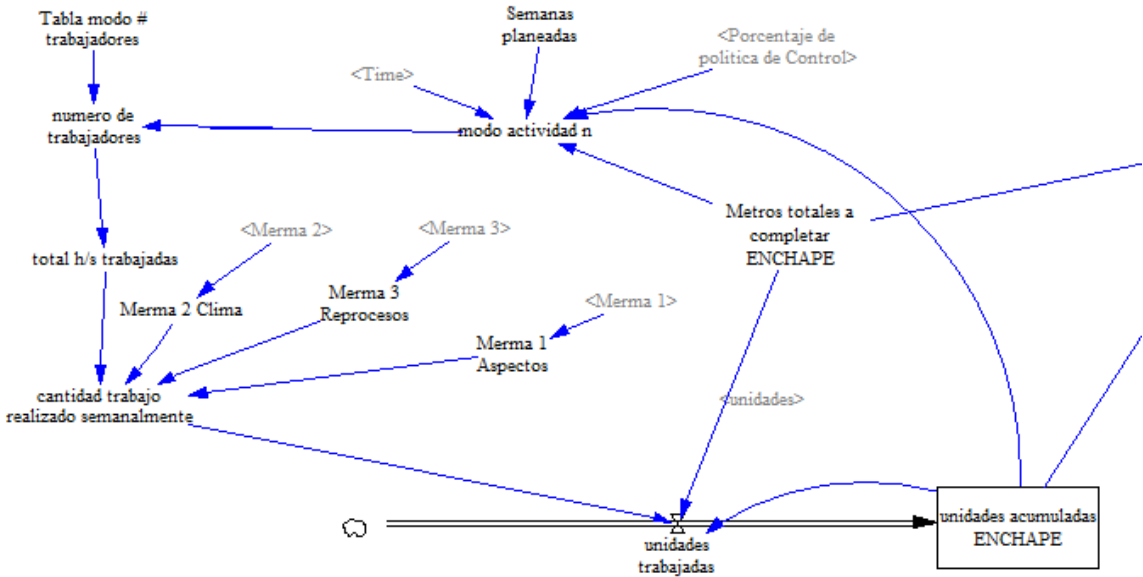
- a. La distribución de prueba es uniforme.
b. Se calcula a partir de datos.

Con un P-valor (Sig. Asintónica) de 0.290, se puede concluir que los valores definidos para la probabilidad de los eventos relacionados con la variable Reprocesos siguen una distribución Uniforme.

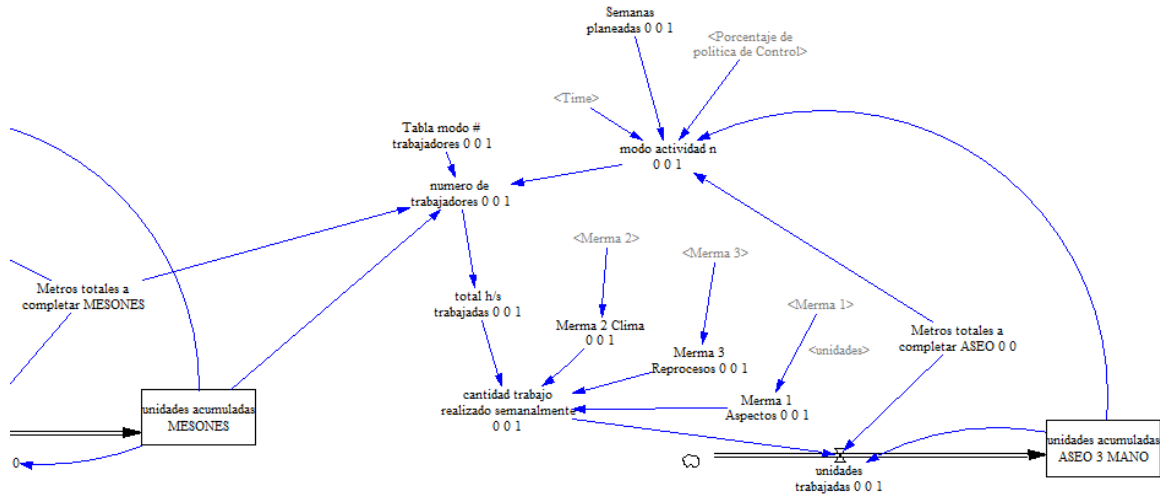
Anexo # 3 Modelo de Simulación

A continuación, se muestran imágenes correspondientes al modelo de simulación desarrollado en el Software Vensim. Estas imágenes corresponden a capturas de pantalla del modelo general, las variables No controlables y algunas de las funciones de las variables definidas.

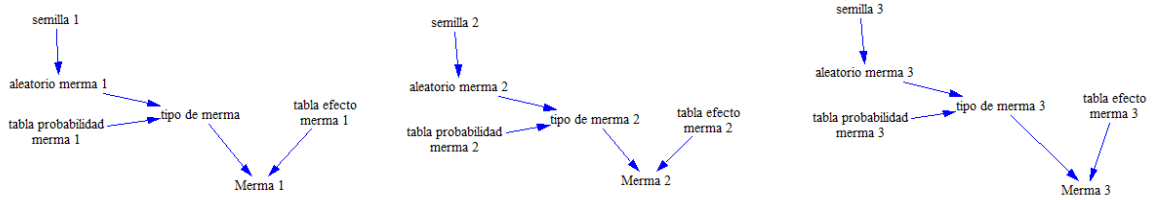
Modelo Actividad de enchape (primera actividad de la WBS):



Modelo actividad de Aseo 3ra mano (última actividad de la WBS):



Modelo de variables No controlables:



Actividades Aseo 1ra mano y Cielo raso durante simulación Política de control #4:

