



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN

**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
INSTITUTO DE ADMINISTRACIÓN**

**XVIII MUESTRA ACADÉMICA DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
DE LA LICENCIATURA EN ADMINISTRACIÓN**

“PRONÓSTICO DE DEMANDA DE HORMIGÓN H21, H17 Y H25 PARA OPTIMIZAR LA PLANIFICACIÓN OPERATIVA DE UNA PLANTA DE HORMIGÓN ELABORADO”

*Aplicación de métodos cuantitativos de pronóstico
en una empresa del sector de la construcción*



INTEGRANTES

- Agustina Rosso
- María del Pilar Fonts
- Francisco Maris
- Tomás Burke
- Joaquín Luciano
- Solana María Fonts
- María Sofía Petray
- Sofía Rodríguez Lieb



rodriguezliebsofi@gmail.com - joaquinluciano01@gmail.com - sofiaPETRAY1@gmail.com -
franciscomar1@gmail.com - rossoagus19@gmail.com - Tomasburke01@gmail.com -
solanafonts17@gmail.com - facepillarface@gmail.com

• **2026** •



Contenido

Resumen	3
Introducción.....	3
Situación Problemática	4
Preguntas de Investigación	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Marco metodológico.....	5
Marco Teórico	6
Aplicación.....	7
Presentación y preparación de datos	7
Análisis de la serie histórica.	8
PRONÓSTICO	9
Descomposición multiplicativa	9
Regresión Lineal	10
PROGRAMACIÓN LINEAL	11
Recomendaciones	15
Conclusiones	18
Referencias.....	18
Apéndice	19

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo aplicar herramientas cuantitativas de pronóstico y programación lineal para optimizar la planificación operativa de una planta productora de hormigón elaborado. Para ello se analizó la demanda mensual de hormigón H21, H17 y H25 correspondiente al período 2023-2025, utilizando información proveniente de registros internos de la empresa.

Se aplicaron los métodos de regresión lineal y descomposición multiplicativa mediante el software QM for Windows, evaluando su desempeño a través de los indicadores MAD, MSE y MAPE. Los resultados evidenciaron la existencia de una tendencia creciente y un comportamiento estacional en la demanda, observándose mayores niveles de actividad durante los meses de agosto, septiembre y octubre.

La descomposición multiplicativa presentó el mejor desempeño predictivo, obteniendo los menores niveles de error para los tres productos analizados. A partir de las demandas proyectadas se formuló un modelo de programación lineal orientado a maximizar la contribución marginal de la empresa bajo restricciones de demanda, capacidad operativa, mano de obra y presupuesto.

La solución óptima indicó una producción de 1.617 m³ de hormigón H21, 323 m³ de H17 y 81 m³ de H25, alcanzando una contribución marginal máxima de \$184.873.103,86. Asimismo, se verificó la existencia de capacidad ociosa y disponibilidad de recursos suficientes para satisfacer la demanda proyectada.

Se concluye que la integración de técnicas de pronóstico y optimización constituye una herramienta eficaz para mejorar la planificación operativa, la asignación de recursos y la toma de decisiones gerenciales dentro de empresas del sector de la construcción.

Palabras clave: pronóstico de demanda - descomposición multiplicativa - programación lineal - planificación operativa - hormigón elaborado.

Introducción

La empresa seleccionada para el desarrollo del presente trabajo es una planta dedicada a la producción y comercialización de hormigón elaborado, destinado al abastecimiento de obras de construcción públicas y privadas. La organización desarrolla sus actividades dentro del sector de la construcción, elaborando distintos tipos de hormigón para viviendas, edificios, obras comerciales y proyectos de infraestructura. La planta cuenta con instalaciones destinadas a la producción y despacho de hormigón elaborado, abasteciendo diariamente a diferentes obras de la región. Dentro de la variedad de productos que comercializa la empresa existen distintos tipos de hormigón, diseñados para responder a diferentes necesidades estructurales y técnicas de las obras. Para el desarrollo del trabajo se tomará el análisis del hormigón H21, H17 y H25 debido a que representan los productos de mayor demanda y rotación dentro de la actividad habitual de la empresa. Al tratarse de

hormigones de uso más frecuente en obras convencionales, su comportamiento resulta representativo para realizar el análisis cuantitativo y los pronósticos de demanda.

Situación Problemática

La empresa presenta dificultades para prever con precisión la demanda futura de hormigón debido a las variaciones existentes en la actividad de la construcción. La ausencia de estimaciones confiables puede generar inconvenientes en la planificación operativa, tales como dificultades para coordinar la producción diaria, problemas en la planificación de compra de insumos, sobrecarga operativa en períodos de alta demanda, y posibles demoras en las entregas a las obras. Debido a que la producción de hormigón elaborado se realiza principalmente en función de los pedidos recibidos, resulta fundamental contar con herramientas que permitan anticipar el comportamiento de la demanda y mejorar la organización de los recursos de la empresa.

Preguntas de Investigación

1. ¿Cuál es el comportamiento histórico de la demanda mensual de hormigón H 21 H 17 y H 25 durante el período 2023-2025 y qué patrones estacionales o de tendencia presenta la serie?
2. ¿Qué método cuantitativo de pronóstico (Naive, promedio móvil simple, promedio móvil ponderado, suavizamiento exponencial, regresión lineal o descomposición multiplicativa) resulta más adecuado para estimar la demanda futura del producto, evaluando su desempeño mediante los indicadores de error MAD, MSE y MAPE?
3. ¿Qué combinación de materiales en la mezcla de hormigón permite maximizar la contribución marginal, garantizando al mismo tiempo el cumplimiento de la demanda?
4. ¿De qué manera la aplicación de herramientas cuantitativas puede contribuir a mejorar la planificación operativa, la coordinación de la producción y la toma de decisiones gerenciales dentro de la empresa?

Objetivo General

Aplicar herramientas cuantitativas de pronóstico y programación lineal para estimar la demanda futura de hormigón H21, H17 y H25 para contribuir a una mejor planificación operativa de la empresa que facilite la toma de decisiones gerenciales.

Objetivos Específicos

1. Observar el comportamiento histórico de la demanda de hormigón y aplicar distintos métodos de pronóstico sobre la serie de datos.
2. Comparar el desempeño de los modelos mediante los indicadores de error MAD, MSE y MAPE, y seleccionar el método de pronóstico más adecuado.
3. Aplicar un modelo de programación lineal para identificar la combinación óptima de materiales en la mezcla de hormigón que maximice la contribución marginal y permita satisfacer la demanda estimada.
4. Elaborar recomendaciones gerenciales orientadas a mejorar la planificación operativa de la empresa a partir de los resultados obtenidos.

Marco metodológico

El trabajo se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de carácter descriptivo y aplicado, utilizando como herramientas principales los modelos de pronóstico y la programación lineal para apoyar la toma de decisiones en la empresa. Para el procesamiento y análisis de la información se empleó el software QM for Windows, complementado con hojas de cálculo en Excel para la organización de los datos.

La base de datos se elaboró a partir de registros internos de la empresa e incluye información histórica sobre la demanda mensual de hormigón correspondiente al período 2023-2025, organizada en los campos año, mes y cantidad de metros cúbicos vendidos. A partir de esta información se construyó una serie temporal sobre la cual se aplicaron distintos métodos de pronóstico con el objetivo de estimar la demanda futura.

Dentro del módulo de pronósticos del software se implementaron los siguientes modelos: regresión lineal y descomposición multiplicativa. Cada modelo fue evaluado mediante los indicadores de error MAD (Mean Absolute Deviation), MSE (Mean Squared Error) y MAPE (Mean Absolute Percentage Error), seleccionándose aquel que presentó el mejor desempeño predictivo.

Posteriormente, utilizando los resultados obtenidos mediante el pronóstico seleccionado, se formuló un modelo de programación lineal orientado a optimizar la planificación operativa de la empresa. El modelo tuvo como objetivo maximizar la contribución marginal total, considerando las restricciones asociadas a la capacidad operativa, requerimientos de demanda y límite presupuestario. Para ello se definieron las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones correspondientes, obteniéndose la combinación óptima de producción que permite aprovechar de manera más eficiente los recursos disponibles.

La metodología se organizó en las siguientes etapas:

1. Organización de los datos históricos de demanda.
2. Análisis descriptivo y gráfico de la serie temporal para identificar tendencias, estacionalidad y variaciones significativas.
3. Aplicación de los distintos modelos cuantitativos de pronóstico mediante el software QM for Windows.
4. Evaluación comparativa de los resultados obtenidos a partir de los indicadores MAD, MSE y MAPE.
5. Selección del método con mejor desempeño para generar el pronóstico final de demanda.
6. Formulación y resolución del modelo de programación lineal utilizando la demanda proyectada como dato de entrada.
7. Análisis de los resultados obtenidos y elaboración de recomendaciones gerenciales orientadas a mejorar la planificación operativa, la asignación eficiente de los recursos y la rentabilidad de la empresa.



Marco Teórico

El pronóstico de demanda constituye una herramienta fundamental dentro de la administración de operaciones, permitiendo anticipar el comportamiento futuro de las ventas y orientar la toma de decisiones sobre producción, inventarios, logística y recursos humanos, tal como lo plantean Render, Stair y Hanna (2012). Su abordaje se enmarca dentro del enfoque cuantitativo de la investigación, que utiliza la recolección y el análisis de datos numéricos para responder preguntas de investigación a través de la medición y el análisis estadístico, según señalan Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014).

Según Heizer y Render (2014), los métodos cuantitativos de pronóstico se basan en el análisis de series temporales y asumen que el comportamiento histórico de una variable contiene información útil para predecir su comportamiento futuro.

La regresión lineal es un método cuantitativo de pronóstico causal que permite analizar la relación existente entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Según Render, Stair, Hanna y Hale (2016), este método busca identificar una ecuación matemática que represente dicha relación y permita estimar valores futuros de la variable de interés. En la regresión lineal simple se considera una única variable explicativa, mientras que la regresión múltiple incorpora dos o más variables independientes. La utilidad de esta técnica radica en su capacidad para medir la intensidad y dirección de la relación entre variables, facilitando la elaboración de pronósticos y el análisis de escenarios para la toma de decisiones.

El modelo de descomposición multiplicativa es una técnica de series de tiempo utilizada cuando los datos presentan simultáneamente tendencia, estacionalidad y variaciones aleatorias. De acuerdo con Render et al. (2016), este enfoque asume que cada observación resulta de la interacción multiplicativa de sus componentes, representados por la tendencia, la estacionalidad y el factor irregular. A través de la identificación y medición de estos componentes, es posible aislar los patrones presentes en la serie histórica y generar pronósticos más precisos. Este método resulta especialmente adecuado cuando las variaciones estacionales aumentan o disminuyen en proporción al nivel de la serie analizada.

Como destacan Render, Stair y Hanna (2012), la evaluación del desempeño de los modelos se realiza mediante indicadores de error: el MAD mide el promedio del valor absoluto de los errores, el MSE penaliza con mayor peso los errores de gran magnitud al elevarlos al cuadrado, y el MAPE expresa el error como porcentaje, facilitando la comparación entre series de distinta escala. La selección del método más adecuado se realiza eligiendo aquel que minimice los indicadores de error sobre la serie histórica analizada.

La programación lineal constituye una de las herramientas más utilizadas dentro del análisis cuantitativo para la toma de decisiones, ya que permite determinar la mejor asignación posible de recursos limitados con el fin de optimizar un objetivo específico. Según Render, Stair, Hanna y Hale (2016), esta técnica forma parte del análisis prescriptivo, debido a que

proporciona soluciones óptimas para problemas de gestión mediante modelos matemáticos. Su aplicación es frecuente en ámbitos como la planificación de la producción, la asignación de recursos, la logística y la gestión de inventarios.

De acuerdo con los autores, un modelo de programación lineal se compone de tres elementos fundamentales: una función objetivo, variables de decisión y restricciones. La función objetivo representa el criterio que se desea optimizar, ya sea maximizar beneficios o minimizar costos. Las variables de decisión corresponden a las alternativas bajo control de la organización, mientras que las restricciones reflejan las limitaciones existentes, tales como disponibilidad de recursos, capacidad productiva o requerimientos de demanda.

La construcción de un modelo de programación lineal requiere la definición precisa del problema, el desarrollo de una representación matemática de la situación analizada y la obtención de datos confiables para su resolución. Render et al. (2016) destacan que los modelos matemáticos permiten representar la realidad de manera simplificada, facilitando el análisis de distintas alternativas y la identificación de la solución óptima. Asimismo, señalan que la calidad de los resultados depende tanto de la validez del modelo como de la precisión de los datos utilizados.

En el ámbito productivo, la programación lineal resulta especialmente útil para determinar combinaciones óptimas de insumos o productos que permitan maximizar la rentabilidad de la empresa, respetando las restricciones operativas existentes. Además, posibilita realizar análisis de sensibilidad, mediante los cuales se evalúa el impacto que podrían generar cambios en los parámetros del modelo o en las condiciones del entorno. De esta manera, la programación lineal se convierte en una herramienta de apoyo para la toma de decisiones gerenciales, permitiendo seleccionar alternativas que contribuyan al logro de los objetivos organizacionales de forma eficiente.

Aplicación

Presentación y preparación de datos

Para el presente estudio, se analizó una base de datos que contiene el registro de las ventas mensuales de hormigón H21, H17 y H25 correspondientes al período enero de 2023 - diciembre de 2025. Esta información, de naturaleza cuantitativa y discreta, constituyó el insumo principal para la elaboración de las series temporales y la aplicación de los métodos de pronóstico.

La información proviene de los registros internos de la empresa y abarca un horizonte temporal de 36 meses (período 2023-2025). La base de datos está organizada de manera cronológica bajo los siguientes campos:

Año y Mes: Identificación temporal de cada registro.

Demanda H21 (m^3): Volumen mensual vendido del hormigón de resistencia H21.

Demanda H17 (m^3): Volumen mensual vendido del hormigón de resistencia H17.

Demanda H25 (m^3): Volumen mensual vendido del hormigón de resistencia H25.

Imagen N1: Demanda de los últimos tres años del Hormigón H21, H25 y H17

Año	Mes	Demanda H21 (m³)	Demanda H17	Demanda H25
2023	Enero	696	139	35
2023	Febrero	686	137	34
2023	Marzo	695	139	35
2023	Abril	820	164	41
2023	Mayo	1016	203	51
2023	Junio	1089	218	54
2023	Julio	1306	261	65
2023	Agosto	1752	350	88
2023	Septiembre	1856	371	93
2023	Octubre	1770	354	89
2023	Noviembre	1469	294	73
2023	Diciembre	1043	209	52
2024	Enero	782	156	39
2024	Febrero	767	153	38
2024	Marzo	785	157	39
2024	Abril	884	177	44
2024	Mayo	1088	218	54
2024	Junio	1271	254	64
2024	Julio	1397	279	70
2024	Agosto	1837	367	92
2024	Septiembre	2023	405	101
2024	Octubre	1858	372	93
2024	Noviembre	1547	309	77
2024	Diciembre	1137	227	57
2025	Enero	820	164	41
2025	Febrero	863	173	43
2025	Marzo	952	190	48
2025	Abril	978	196	49
2025	Mayo	1201	240	60
2025	Junio	1281	256	64
2025	Julio	1505	301	75
2025	Agosto	1919	384	96
2025	Septiembre	2035	407	102
2025	Octubre	1994	399	100
2025	Noviembre	1619	324	81
2025	Diciembre	1271	254	64

Fuente: Datos extraídos del Excel de la empresa bajo estudio.

Análisis de la serie histórica.

A partir de los datos obtenidos se realizó un gráfico de la demanda de cada tipo de hormigón a través de los años, donde se observa la presencia de un comportamiento estacional relativamente marcado. Los mayores niveles de demanda se registran principalmente durante los meses de agosto, septiembre y octubre, coincidiendo con períodos de mayor actividad dentro del sector de la construcción. Por el contrario, durante los primeros meses del año, especialmente entre enero y abril, se evidencian niveles inferiores de demanda, situación que puede asociarse a factores climáticos y a una menor intensidad de las actividades constructivas.

Gráfico N 2: Gráfico de la demanda de los distintos tipos de hormigón a través de los meses desde 2023 hasta 2025



Fuente: Elaboración propia en Excel

A su vez, se identifica una leve tendencia creciente en la demanda a lo largo del horizonte temporal analizado, lo que refleja una expansión gradual de la actividad comercial de la empresa. La coexistencia de tendencia y estacionalidad sugiere la conveniencia de aplicar modelos de pronóstico capaces de captar ambos componentes para mejorar la precisión de las estimaciones futuras.

Con el propósito de desarrollar posteriormente el modelo de programación lineal bajo condiciones operativas representativas, se decidió trabajar con el pronóstico correspondiente al período 43. La selección de dicho período responde a que presenta un nivel de demanda intermedio dentro del comportamiento histórico observado, permitiendo analizar la capacidad de respuesta de la empresa en un escenario operativo habitual. De esta manera, el modelo de optimización se formuló sobre una situación considerada representativa de la operatoria normal de la planta, facilitando la evaluación de la utilización de recursos y de las posibilidades de mejora en la planificación productiva.

PRONÓSTICO

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de la serie histórica, se seleccionaron los métodos de regresión lineal y descomposición multiplicativa para la elaboración de los pronósticos. La elección de estos modelos se fundamenta en la presencia simultánea de una leve tendencia creciente y de un comportamiento estacional en la demanda. Mientras que la regresión lineal permite analizar la evolución general de la serie a lo largo del tiempo, la descomposición multiplicativa incorpora tanto la tendencia como los efectos estacionales observados. Posteriormente, ambos modelos fueron evaluados mediante los indicadores MAD, MSE y MAPE con el objetivo de identificar la alternativa que proporciona el mejor desempeño predictivo.

Descomposición multiplicativa

El método de descomposición multiplicativa resulta especialmente adecuado para series temporales que presentan componentes de tendencia y estacionalidad. Este método

permite descomponer la serie en sus diferentes componentes y ajustar los pronósticos mediante la utilización de índices estacionales.

Los resultados obtenidos fueron:

- Para H21 MAD: 29,101; MSE: 1515,15; MAPE: 2,332%.
- Para H17 MAD: 5,82 ; MSE: 60,626; MAPE: 2,332%.
- Para H25 MAD: 1,455 ; MSE: 3,789; MAPE: 2,332%.

Tabla 3: Medidas de error y pronóstico de la demanda mediante descomposición multiplicativa

HORMIGÓN	H21	H17	H25
MAD	29,101	5,82	1,455
MSE	1515,15	60,626	3,789
MAPE	2,332%	2,332%	2,332%
PRONÓSTICO PARA PERIODO 43	1617,329	323,466	80,866

Fuente: Elaboración Propia.

Regresión Lineal

También se aplicó el método de regresión lineal, con el objetivo de analizar si la demanda de hormigón presentaba una tendencia creciente a lo largo del tiempo. Este modelo permite estimar la demanda futura a partir de una ecuación lineal que relaciona la variable dependiente, demanda, con el paso del tiempo.

La ecuación obtenida para cada tipo de hormigón fue

- H21: Demanda = $961,326 + 17,115 \times \text{tiempo}$
- H17: Demanda = $192,265 + 3,423 \times \text{tiempo}$
- H25: Demanda = $48,066 + 0,856 \times \text{tiempo}$

Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 4: Medidas de error y pronóstico de la demanda mediante el método de regresión lineal

HORMIGÓN	H21	H17	H25
MAD	338,87	67,774	16,943
MSE	155527,5	6221,1	388,819
MAPE	28,911%	28,911	28,911%
COEF DE CORR.	0.411	0,411	0,411
COEF DE DET.	0.169	0,169	0,169
PRONÓSTICO PARA PERIODO 43	1697,82	339,457	84,864

Fuente: Elaboración Propia

Si bien la regresión lineal muestra una leve tendencia creciente en la demanda, el valor de R^2 indica que el modelo explica solo una pequeña parte del comportamiento de la serie. Esto se debe a que la demanda no crece de manera completamente lineal, sino que presenta variaciones estacionales importantes. Por lo tanto, este método no resulta el más adecuado para el caso analizado, aunque sirve para confirmar la existencia de una tendencia general creciente.

En consecuencia, el modelo de descomposición multiplicativa fue seleccionado para generar los pronósticos utilizados posteriormente como datos de entrada en el modelo de programación lineal.

PROGRAMACIÓN LINEAL CONTINUA

Una vez identificado el método de pronóstico más adecuado y obtenidas las estimaciones de demanda futura, se procedió a aplicar un modelo de programación lineal con el propósito de optimizar la planificación operativa de la empresa. Esta herramienta permite determinar la combinación de producción que maximiza la contribución marginal, considerando las restricciones asociadas a los recursos disponibles y a las necesidades del mercado.

La programación lineal continua permitió determinar la combinación de producción que maximiza la contribución marginal total, considerando las limitaciones operativas y financieras existentes. Para la construcción del modelo se utilizaron los valores de demanda proyectada obtenidos mediante el pronóstico seleccionado, mientras que los costos de producción, precios de venta y contribuciones marginales unitarias fueron obtenidos a partir de información suministrada por la empresa.

Definición de las variables de decisión

Se definieron las siguientes variables de decisión:

- X_1 = cantidad de metros cúbicos de hormigón H21 a producir.
- X_2 = cantidad de metros cúbicos de hormigón H25 a producir.
- X_3 = cantidad de metros cúbicos de hormigón H17 a producir.

Función objetivo

El objetivo del modelo consiste en maximizar la contribución marginal total generada por la producción de los distintos tipos de hormigón.

La función objetivo se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Max } Z = (\text{CMH21} \times X_1) + (\text{CMH25} \times X_2) + (\text{CMH17} \times X_3)$$

donde:

CMH21 = contribución marginal unitaria del hormigón H21.

CMH25 = contribución marginal unitaria del hormigón H25.

CMH17 = contribución marginal unitaria del hormigón H17.

Los valores de contribución marginal fueron obtenidos a partir de la información económica proporcionada por la empresa, considerando los precios de venta y los costos variables asociados a cada producto.

Restricciones del modelo

Con el fin de representar las condiciones reales de operación de la empresa, se incorporaron las siguientes restricciones:

- **Restricciones de demanda:** Estas restricciones establecen que la producción de cada tipo de hormigón no puede superar la demanda estimada mediante el modelo de pronóstico.
 1. $X_1 \leq 1617$
 2. $X_2 \leq 81$
 3. $X_3 \leq 323$
- **Capacidad de planta:** Representa el máximo volumen de hormigón que la planta puede producir durante el período analizado.

$$X_1 + X_2 + X_3 \leq 6480$$

Mano de obra: Garantiza que la producción pueda realizarse con las horas de trabajo disponibles.

$$0,25X1 + 0,10X2 + 0,16X3 \leq 1800$$

Política de H21: Asegura un nivel mínimo de producción del producto principal de la empresa para empresas corporativas.

$$X1 \geq 300$$

Presupuesto: Limita la producción a los recursos financieros disponibles.

$$65000X1 + 80000X2 + 50000X3 \leq 250.000.000$$

no negatividad: Lo que implica que no es posible producir cantidades negativas de ninguno de los productos analizados.

$$X1, X2, X3 \geq 0$$

Imagen 5: Solución del modelo de programación Lineal

		X1	X2	X3			
	VD	1617	81	323			
	FO	\$ 97,763.75	\$ 147,326.57	\$ 45,992.78	\$ 184,873,103.86		
R1	Demanda H21	1			1617	≤	1617
R2	Demanda H25		1		81	≤	81
R3	Demanda H17			1	323	≤	323
R4	Capacidad de planta	1	1	1	2021	≤	6480
R5	Capacidad MO	0.25	0.1	0.16	464.03	≤	1800
R6	Politca	1			1617	≥	300
R7	Presupuesto	65000	80000	50000	\$ 127,735,000.00	≤	\$ 200,000,000.00

Fuente: elaboración propia

El modelo fue resuelto mediante el software QM for Windows. La solución obtenida permitió identificar la combinación de producción que maximiza la contribución marginal total de la empresa respetando todas las restricciones establecidas.

A su vez, el software proporcionó un análisis de sensibilidad que permitió evaluar el comportamiento de la solución óptima frente a posibles modificaciones en los parámetros del modelo, aportando información adicional para la toma de decisiones gerenciales.

Imagen 6: Informe de análisis de sensibilidad

Microsoft Excel 16.0 Sensitivity Report

Worksheet: [EXCEL ANALISIS - DEMANDA Y RESTRICCIONES 11.xlsx]Demanda H21

Report Created: 16/6/2026 20:30:00

Variable Cells

		Final	Reduced	Objective	Allowable	Allowable	Rango de optimabilidad	
Cell	Name	Value	Cost	Coefficient	Increase	Decrease		
\$L\$49	VD X1	1617	0	97763.75	1E+30	97763.75	0	1E+30
\$M\$49	VD X2	81	0	147326.57	1E+30	147326.57	0	1E+30
\$N\$49	VD X3	323	0	45992.78	1E+30	45992.78	0	1E+30

Constraints

		Final	Shadow	Constraint	Allowable	Allowable	Rango de factibilidad	
Cell	Name	Value	Price	R.H. Side	Increase	Decrease		
\$O\$51	Demanda H21	1617	97763.75	1617	1111.769231	1317	300	2728.769231
\$O\$52	Demanda H25	81	147326.57	81	903.3125	81	0	984.3125
\$O\$53	Demanda H17	323	45992.78	323	1445.3	323	0	1768.3
\$O\$54	Capacidad de planta	2021	0	6480	1E+30	4459	2021	1E+30
\$O\$55	Capacidad MO	464.03	0	1800	1E+30	1335.97	464.03	1E+30
\$O\$56	Politca	1617	0	300	1317	1E+30	-1E+30	1617
\$O\$57	Presupuesto	\$ 127,735,000.00	0	200000000	1E+30	72265000	127735000	1E+30

Fuente: elaboración propia con uso de software especializado

Imagen 7: Análisis de sensibilidad

Objective Cell (Max)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$O\$50	FO	\$ 184,873,103.86	\$ 184,873,103.86

Variable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value	Integer
\$L\$49	VD X1	1617	1617	Contin
\$M\$49	VD X2	81	81	Contin
\$N\$49	VD X3	323	323	Contin

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$O\$51	Demanda H21	1617	\$O\$51<=\$Q\$51	Binding	0
\$O\$52	Demanda H25	81	\$O\$52<=\$Q\$52	Binding	0
\$O\$53	Demanda H17	323	\$O\$53<=\$Q\$53	Binding	0
\$O\$54	Capacidad de planta	2021	\$O\$54<=\$Q\$54	Not Binding	4459
\$O\$55	Capacidad MO	464.03	\$O\$55<=\$Q\$55	Not Binding	1335.97
\$O\$56	Politca	1617	\$O\$56>=\$Q\$56	Not Binding	1317
\$O\$57	Presupuesto	\$ 127,735,000.00	\$O\$57<=\$Q\$57	Not Binding	72265000

Fuente: elaboración propia con uso de software especializado

Interpretación de los resultados

1. Interpretación de la solución óptima

La solución óptima obtenida mediante el modelo de programación lineal indica que la empresa debería producir 1.617 m³ de hormigón H21, 81 m³ de hormigón H25 y 323 m³ de hormigón H17. Con esta combinación de producción se alcanza una contribución marginal máxima de \$184.873.103,86.

Estos resultados representan la alternativa más conveniente para la empresa dentro de las condiciones establecidas por el modelo, ya que permiten maximizar el beneficio económico esperado utilizando eficientemente los recursos disponibles.

2. Interpretación de las restricciones

El análisis de las restricciones muestra que las correspondientes a la demanda proyectada de los productos H21, H25 y H17 resultan vinculantes (Binding), debido a que la producción óptima coincide exactamente con los niveles de demanda pronosticados. Esto indica que la demanda constituye el principal factor limitante de la solución obtenida.

Por otra parte, las restricciones de capacidad de planta, disponibilidad de mano de obra y presupuesto presentan holguras significativas, por lo que no restringen la producción

óptima. En particular, se observa una capacidad ociosa de 4.459 m³, un excedente de 1.335,97 horas de mano de obra y una disponibilidad presupuestaria remanente de \$72.265.000.

Asimismo, la restricción de política comercial vinculada al hormigón H21 tampoco resulta limitante, ya que la producción óptima supera ampliamente el mínimo establecido de 300 m³.

3. Interpretación de los precios sombra

Los precios sombra indican cuánto aumentaría la contribución marginal máxima si se incrementara en una unidad el lado derecho de una restricción vinculante, manteniendo constantes los demás parámetros del modelo.

Los resultados obtenidos muestran que:

- Un incremento de 1 m³ en la demanda de hormigón H21 aumentaría la contribución marginal en \$97.763,75.
- Un incremento de 1 m³ en la demanda de hormigón H25 aumentaría la contribución marginal en \$147.326,57.
- Un incremento de 1 m³ en la demanda de hormigón H17 aumentaría la contribución marginal en \$45.992,78.

Entre los tres productos analizados, el hormigón H25 presenta el mayor precio sombra. Esto significa que cada unidad adicional de demanda de este producto genera el mayor incremento en la contribución marginal total de la empresa.

Las restricciones de capacidad de planta, mano de obra, presupuesto y política comercial poseen precio sombra igual a cero debido a que no son vinculantes en la solución óptima.

4. Interpretación de los rangos de factibilidad

Los rangos de factibilidad indican el intervalo dentro del cual puede variar el valor de una restricción sin modificar la estructura de la solución óptima y manteniendo la validez de su respectivo precio sombra.

- Para la demanda de hormigón H21, el precio sombra se mantiene válido mientras la demanda se encuentre entre 300 m³ y 1.728,77 m³.
- Para la demanda de hormigón H25, el rango de factibilidad se encuentra entre 0 m³ y 984,31 m³.
- Para la demanda de hormigón H17, el rango de factibilidad se extiende entre 0 m³ y 1.768,30 m³.

Dentro de estos intervalos, los precios sombra calculados continúan siendo válidos. Si las demandas superan dichos límites, sería necesario resolver nuevamente el modelo, ya que la solución óptima podría modificarse.

5. Interpretación de los rangos de optimalidad

Los rangos de optimalidad indican cuánto pueden variar las contribuciones marginales unitarias de cada producto sin alterar la combinación óptima de producción obtenida.

Los resultados muestran que la contribución marginal del hormigón H21 puede disminuir hasta \$97.763,75 sin modificar la solución óptima. De igual manera, la contribución marginal del hormigón H25 puede disminuir hasta \$147.326,57 y la del hormigón H17 hasta \$45.992,78.

Por otra parte, el valor $1E+30$ reportado por el software representa un incremento prácticamente ilimitado. Esto significa que aumentos en las contribuciones marginales unitarias de los productos no alterarían la combinación óptima determinada por el modelo.

Conclusión del análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad evidencia que la empresa dispone de recursos operativos suficientes para satisfacer la demanda proyectada, ya que las restricciones de capacidad, mano de obra y presupuesto presentan importantes niveles de holgura.

Asimismo, se observa que la principal limitación para incrementar la contribución marginal es la demanda estimada de los productos. En particular, el hormigón H25 constituye la alternativa con mayor potencial de generación de valor adicional, debido a que presenta el precio sombra más elevado. Por lo tanto, cualquier estrategia comercial orientada a incrementar la demanda de este producto podría traducirse en mejoras significativas en los resultados económicos de la empresa.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda a la empresa incorporar de manera permanente herramientas cuantitativas de pronóstico para mejorar la planificación de la producción y anticipar los requerimientos operativos. En particular, se aconseja utilizar el método de descomposición multiplicativa para la estimación de la demanda futura, debido a que fue el modelo que presentó los menores niveles de error y logró representar adecuadamente la tendencia y la estacionalidad observadas en la serie histórica.

Asimismo, se recomienda elaborar planes operativos diferenciados según la estacionalidad detectada. Durante los meses de mayor actividad, especialmente agosto, septiembre y octubre, la empresa debería anticipar la compra de insumos, coordinar la disponibilidad de camiones hormigoneros y asegurar una adecuada asignación del personal. Por el contrario, los períodos de menor demanda pueden aprovecharse para realizar tareas de mantenimiento preventivo, capacitación del personal y revisión de procesos internos.



Los resultados de la programación lineal evidenciaron la existencia de capacidad ociosa, disponibilidad de mano de obra y margen presupuestario suficiente para atender incrementos moderados de la demanda. Por ello, se recomienda analizar oportunidades de expansión comercial que permitan aprovechar más eficientemente los recursos disponibles y mejorar la rentabilidad de la operación.

Finalmente, se aconseja actualizar periódicamente los pronósticos incorporando nuevos datos históricos y, en futuras investigaciones, considerar variables externas como indicadores de actividad de la construcción, condiciones climáticas y evolución económica del sector, con el fin de incrementar la precisión de las estimaciones y fortalecer el proceso de toma de decisiones.

Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo permitió comprobar la utilidad de las herramientas cuantitativas para apoyar la planificación de la producción y la toma de decisiones en empresas de hormigón elaborado. El análisis realizado evidenció que la demanda presenta patrones de comportamiento que no pueden ser explicados únicamente mediante una tendencia lineal, sino que incorporan componentes estacionales cuya consideración mejora significativamente la calidad de los pronósticos.

Los resultados obtenidos demuestran la importancia de seleccionar modelos de pronóstico acordes a las características de los datos analizados. En este sentido, la descomposición multiplicativa logró representar con mayor precisión la evolución de la demanda, proporcionando una base más confiable para la planificación de la producción futura.

A su vez, la aplicación de programación lineal permitió identificar una combinación de producción capaz de maximizar la contribución marginal bajo las condiciones operativas de la empresa. El análisis de sensibilidad reveló que la demanda constituye el principal factor limitante del sistema, mientras que los recursos productivos disponibles presentan márgenes de capacidad no utilizados. Esta situación indica que la organización cuenta con posibilidades de absorber incrementos moderados de demanda sin necesidad de realizar inversiones inmediatas en capacidad operativa.

Desde una perspectiva gerencial, los resultados sugieren que futuras estrategias deberían orientarse principalmente al desarrollo comercial y a la generación de demanda, dado que la capacidad instalada actual no representa una restricción significativa para el nivel de actividad proyectado.

Finalmente, si bien el estudio se desarrolló sobre una base histórica limitada y sin incorporar variables externas que puedan afectar el comportamiento de la demanda, constituye una herramienta de apoyo para la planificación operativa y sienta las bases para futuras investigaciones que incorporen modelos predictivos más complejos y un horizonte de análisis más amplio.

Referencias

- Hanke, J. E., & Wichern, D. W. (2010). *Pronósticos en los negocios* (9.ª ed.). Pearson Educación.
- Heizer, J., & Render, B. (2014). *Principios de administración de operaciones* (9.ª ed.). Pearson Educación.
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2013). *Administración de operaciones: procesos y cadenas de valor* (10.ª ed.). Pearson Educación.
- Render, B., Stair, R. M., & Hanna, M. E. (2012). *Métodos cuantitativos para los negocios* (11.ª ed.). Pearson Educación.

Apéndice

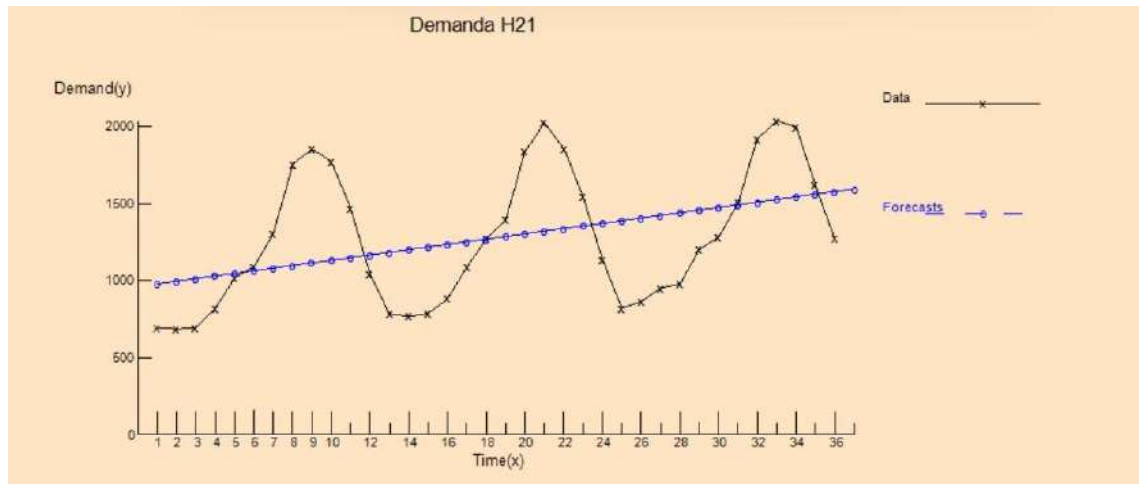
Regresión Lineal H21

Imagen 8: Análisis de tendencia mediante regresión lineal para H21

QM for Windows - [Data] Results			
Demanda H21 Solution			
Measure	Value	Future Period	Forecast
Error Measures		37	1594.59
Bias (Mean Error)	0	38	1611.706
MAD (Mean Absolute Deviation)	338.869	39	1628.821
MSE (Mean Squared Error)	155527.5	40	1645.936
Standard Error (denom=n-2=34)	405.803	41	1663.051
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	28.911%	42	1680.167
Regression line		43	1697.282
Demand(y) = 961.326		44	1714.397
+ 17.115 * Time(x)		45	1731.512
Statistics		46	1748.628
Correlation coefficient	.411	47	1765.743
Coefficient of determination (r ²)	.169	48	1782.858
		49	1799.973
		50	1817.089

Fuente: elaboración propia con uso de software especializado

Imagen 9: Comparativa de errores y pronóstico de regresión para H21



Fuente: elaboración propia con uso de software especializado

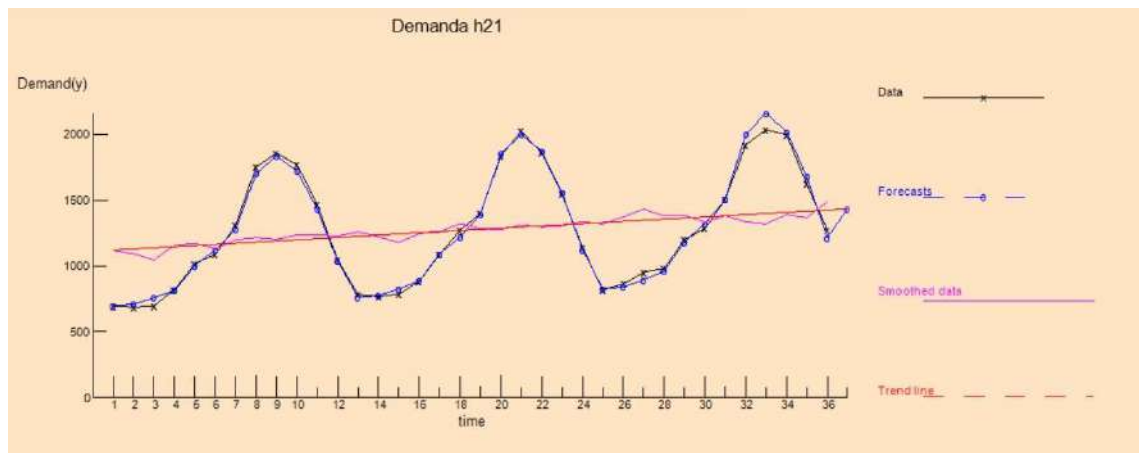
Descomposición Multiplicativa H21

Imagen 10: Índices de estacionalidad por descomposición multiplicativa para H21

QM for Windows - [Data] Results					
Demanda h21 solution					
Measure	Value	Future Period	Unadjusted Forecast	Seasonal Factor	Adjusted Forecast
Error Measures		37	1432.725	.622	891.478
Bias (Mean Error)	-1.202	38	1441.396	.628	905.815
MAD (Mean Absolute Deviation)	29.101	39	1450.066	.665	964.161
MSE (Mean Squared Error)	1515.657	40	1458.737	.709	1034.773
Standard Error (denom=n-2-12=22)	49.801	41	1467.408	.867	1272.003
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	2.332%	42	1476.079	.963	1420.776
Regression line (unadjusted forecast)		43	1484.75	1.089	1617.329
Demand(y) = 1111.901		44	1493.421	1.44	2150.265
+ 8.671 * time		45	1502.092	1.544	2318.676
Statistics		46	1510.763	1.435	2168.26
Correlation coefficient	.996	47	1519.434	1.186	1802.12
Coefficient of determination (r^2)	.992	48	1528.104	.852	1301.485
		49	1536.775	.622	956.221
		50	1545.446	.628	971.203

Fuente: elaboración propia con uso de software especializado

Imagen 11: Resultados del ajuste de pronóstico por descomposición para H21



Fuente: elaboración propia con uso de software especializado

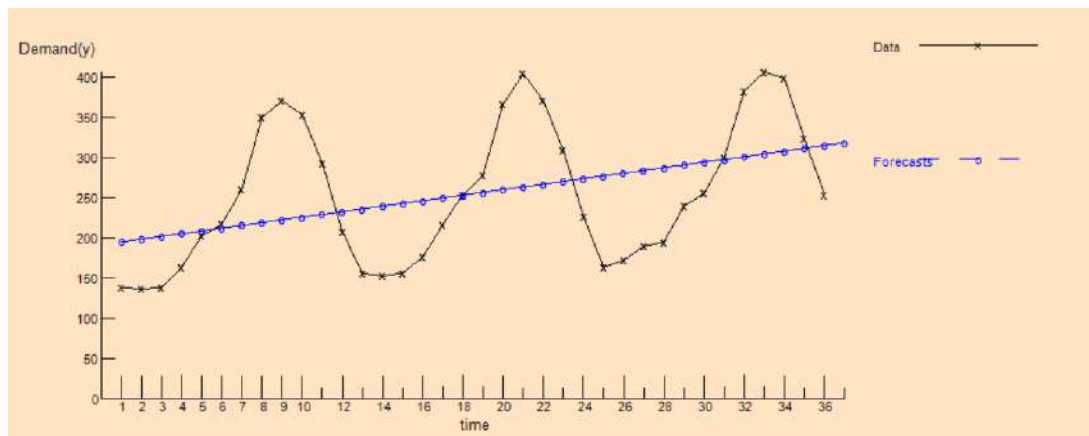
Regresión Lineal H17

Imagen 12: Gráfico de regresión lineal para H17

QM for Windows - [Data] Results			
(untitled) Solution			
Measure	Value	Future Period	Forecast
Error Measures		37	318,918
Bias (Mean Error)	0	38	322,341
MAD (Mean Absolute Deviation)	67,774	39	325,764
MSE (Mean Squared Error)	6221,1	40	329,187
Standard Error (denom=n-2=34)	81,161	41	332,61
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	28,911%	42	336,034
Regression line		43	339,457
Demand(y) = 192,265		44	342,88
+ 3,423 * time		45	346,303
Statistics		46	349,726
Correlation coefficient	,411	47	353,149
Coefficient of determination (r^2)	,169	48	356,572
		49	359,995
		50	363,418

Fuente: elaboración propia con uso de software especializado

Imagen 13: Tabla de resultados de regresión lineal para H17



Fuente: elaboración propia con uso de software especializado

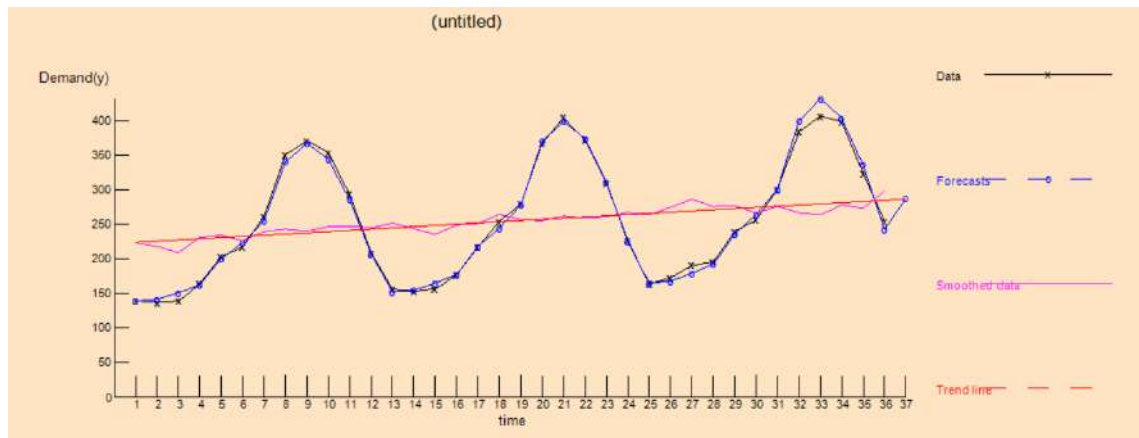
Descomposición Multiplicativa H17

Imagen 14: Índices estacionales para hormigón H17

QM for Windows - [Data] Results					
(untitled) Solution					
Measure	Value	Future Period	Unadjusted Forecast	Seasonal Factor	Adjusted Forecast
Error Measures		37	286,545	,622	178,296
Bias (Mean Error)	-.24	38	288,279	,628	181,163
MAD (Mean Absolute Deviation)	5,82	39	290,013	,665	192,832
MSE (Mean Squared Error)	60,626	40	291,748	,709	206,955
Standard Error (denom=n-2-12=22)	9,96	41	293,482	,867	254,401
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	2,332%	42	295,216	,963	284,155
Regression line (unadjusted forecast)		43	296,95	1,089	323,466
Demand(y) = 222,38		44	298,684	1,44	430,053
+ 1,734 * time		45	300,418	1,544	463,735
Statistics		46	302,153	1,435	433,652
Correlation coefficient	,996	47	303,887	1,186	360,424
Coefficient of determination (r^2)	,992	48	305,621	,852	260,297
		49	307,355	,622	191,244
		50	309,089	,628	194,241

Fuente: elaboración propia con uso de software especializado

Imagen 15: Desempeño predictivo del modelo de descomposición para H17



Fuente: Elaboración propia con uso de software especializado

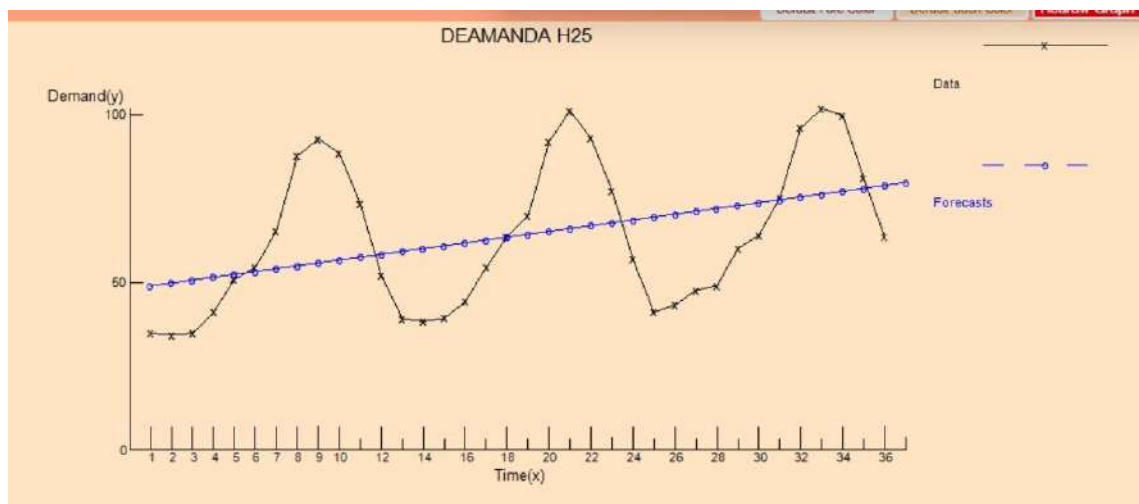
Regresión lineal H25

Imagen 16: Análisis de regresión lineal para hormigón H25

QM for Windows - [Data] Results			
(untitled) Solution			
Measure	Value	Future Period	Forecast
Error Measures		37	79.73
Bias (Mean Error)	0	38	80.585
MAD (Mean Absolute Deviation)	16.943	39	81.441
MSE (Mean Squared Error)	388.819	40	82.297
Standard Error (denom=n-2=34)	20.29	41	83.153
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	28.911%	42	84.008
Regression line		43	84.864
Demand(y) = 48.066		44	85.72
+ .856 * Time(x)		45	86.576
Statistics		46	87.431
Correlation coefficient	.411	47	88.287
Coefficient of determination (r^2)	.169	48	89.143
		49	89.999
		50	90.854

Fuente: Elaboración propia con uso de software especializado

Imagen 17: Indicadores de error en regresión para H25



Fuente: elaboración propia con uso de software especializado

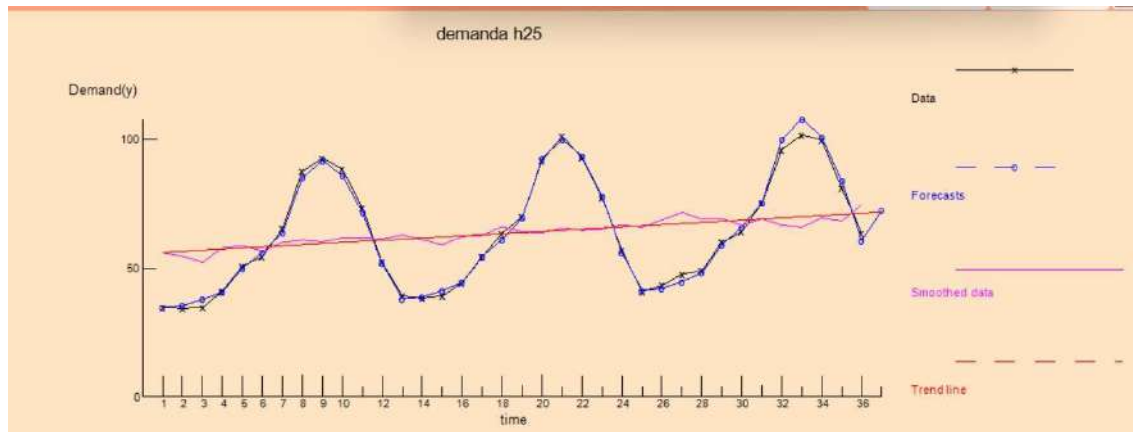
Descomposición Multiplicativa H25

Imagen 18: Componentes de estacionalidad para hormigón H25

QM for Windows - [Data] Results					
demanda h25 solution					
Measure	Value	Future Period	Unadjusted Forecast	Seasonal Factor	Adjusted Forecast
Error Measures		37	71.636	.622	44.574
Bias (Mean Error)	-.06	38	72.07	.628	45.291
MAD (Mean Absolute Deviation)	1.455	39	72.503	.665	48.208
MSE (Mean Squared Error)	3.789	40	72.937	.709	51.739
Standard Error (denom=n-2-12=22)	2.49	41	73.37	.867	63.6
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	2.332%	42	73.804	.963	71.039
Regression line (unadjusted forecast)		43	74.238	1.089	80.866
Demand(y) = 55.595		44	74.671	1.44	107.513
+ .434 * time		45	75.105	1.544	115.934
Statistics		46	75.538	1.435	108.413
Correlation coefficient	.996	47	75.972	1.186	90.106
Coefficient of determination (r^2)	.992	48	76.405	.852	65.074
		49	76.839	.622	47.811
		50	77.272	.628	48.56

Fuente: elaboración propia con uso de software especializado

Imagen 19: Resultados finales de descomposición multiplicativa para H25



Fuente: Elaboración propia con uso de software especializado

