

Caso de estudio de utilización de prueba de hipótesis en la medición del desempeño en el proceso de suministro de una industria embotelladora

Juan Wong, Cinthia Ruiz, David Lerma, Fabiola Lugo, y Xochitl Delgado

J.Y. Wong Gallegos, C.D. Ruiz Pérez, D. Lerma Ledezma, F.E. Lugo del Angel, X.S. Delgado Hernandez Universidad Politécnica de Altamira
Nuevo Libramiento Altamira - Puerto Industrial Km. 1.5, acceso por el Km. 30 de la Carretera Tampico Mante, Altamira, Tamaulipas.
Tel. (833) 304-0474
juan.wong@upalt.edu.mx

M. Ramos., V.Aguilera., (eds.) .Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

Abstract

This article is a case study where statistical hypothesis tests are applied to measure the improvement obtained for the company due to the implementation of material requirements planning (MRP) in a beverage bottling industry. The implementation of MRP was specifically for the most important raw material of the company, the concentrates. This article shows the situation that prevailed in the company prior to this implementation and established as an indicator of improving the level of inventory. This indicator assesses the change to implement the MRP through the Student's t test.

1 Introducción

Desde el siglo XIX y hasta principios del siglo XX las publicaciones científicas estaban plagadas de presentaciones de casos y análisis que se traducían en juicios subjetivos los que, en muchos casos, no eran relevantes y producían confusiones que entorpecían el avance de las diferentes disciplinas científicas. Esta situación ocurría porque no existía una formalización en el manejo de los datos, ni procedimientos de análisis que introdujeran un criterio de objetividad en las decisiones que se tomaban. Ante estas necesidades científicas surgieron las pruebas de hipótesis estadísticas.

Las pruebas de hipótesis fueron creadas en el período entre 1915 y 1933 como resultado de la labor de dos grupos o tendencias: por un lado, Ronald Fisher (1890-1962) y, por otro, Jerzy Neyman (1894-1981) en conjunto con Egon Pearson (1895-1980). Ambas tendencias tuvieron como antecedente la famosa prueba de χ^2 al cuadrado de Karl Pearson (1857-1936). Los procedimientos de Fisher y Neyman-Pearson se desarrollaron a partir de posiciones filosóficas antagónicas, por lo que la historia de las pruebas de hipótesis no ha estado exenta de controversias, desacuerdos científicos y disputas personales que lamentablemente se reflejan en la actualidad y han conducido a dificultades en su aplicación y aceptación. Al aplicar las pruebas de hipótesis muchos investigadores combinan de manera moderada elementos de los dos enfoques antagónicos: las pruebas de hipótesis estadísticas son presentadas en los artículos de las revistas siguiendo normalmente a Neyman-Pearson pero según la guía práctica de Fisher.

Esta situación ha sido favorecida, por no decir propiciada, por los programas docentes de estadística y los libros de texto, los que han ayudado a que esto ocurra al promover un mecanicismo ingenuo en los análisis que conducen a que el investigador, paradójicamente, realice el análisis de sus datos sin mirar los datos: “sólo decide sí/no, según el valor de P”. Esta filosofía ha conducido a algunos a no considerar la naturaleza biológica y la lógica de los resultados que van obteniendo, lo que se ha traducido en la publicación de conclusiones erróneas. Por otra parte, el valor P se convirtió en una especie de “dios” cuando muchos editores de revistas y pares favorecían la publicación de aquellos estudios con un P significativo.

Los primeros sistemas para la planificación del requerimiento de materiales surgieron durante la segunda guerra mundial; el gobierno estadounidense empleó programas especializados que se ejecutaban en las enormes y complejas computadoras recién surgidas al principio de la década de los años 40 para controlar la logística u organización de sus unidades en acciones bélicas. El MRP fue formalizado en el trabajo pionero de Orlicky, 1975. De acuerdo con el diccionario APIC, Blackstone y Cox 2004.

La planeación de los requerimientos de materiales es un conjunto de técnicas que usan listas de materiales, información de inventarios y el programa maestro de producción (MPS por sus siglas en inglés) para calcular los requerimientos de materiales. El MRP comienza con la lista de productos en el MPS y determina:

- La cantidad de todos los componentes y materiales necesarios para fabricar los productos del MPS.
- La fecha en que los componentes y materiales son requeridos.

Los requerimientos de materiales son generados por la explosión de las listas de materiales, ajustado por la cantidad de inventario disponible y en tránsito, programando los requerimientos netos de acuerdo a los tiempos de entrega de los proveedores.

Para un sistema de producción en el cual el tamaño de orden es una constante, Golhar y Sarker, 1992 probaron un modelo generalizado de control de inventarios, en el cual el tiempo de producción y los tiempos de alistamiento son múltiplos enteros del intervalo entre envíos. La función de costo del inventario es convexa, aunque con intervalos lineales, y se muestra que, bajo ciertas condiciones el costo total se reduce en conjunto con la disminución del tamaño de envío. Jamal y Sarker, 1993 investigaron un sistema justo a tiempo en el cual las políticas de ordenamiento de las materias primas y el tamaño de lote de ellas fueron incluidas en un modelo. Sarker y Parija, 1994 extendieron el trabajo de Golhar y Sarker, 1992, introduciendo el cálculo de políticas de aprovisionamiento de materias primas para un ambiente de múltiples órdenes de producción activas.

Los modelos de inventario que permiten la colocación de una orden en cualquier momento se conocen como "modelos de revisión continua". Si la cantidad en inventario se revisa periódicamente y las órdenes se colocan de manera periódica, entonces el modelo se conoce como "modelo de revisión periódica". (Silver, 1998).

Este artículo es un caso de estudio de la implantación del proceso de planeación de requerimientos de materiales (MRP, por sus siglas en inglés) en una industria embotelladora de bebidas, en lo sucesivo denominaremos RVC. Para la planeación y suministro de los concentrados, los cuales son la materia prima más importante para la industria embotelladora de bebidas. Y como se comprueba estadísticamente la efectividad de la optimización del proceso.

RVC es una empresa embotelladora de bebidas no alcohólicas y desde siempre el proceso de planeación de concentrados no estaba integrado a la cadena de suministro. Lo que generaba tener un alto nivel de inventario y por consiguiente un costo de inventario también alto.

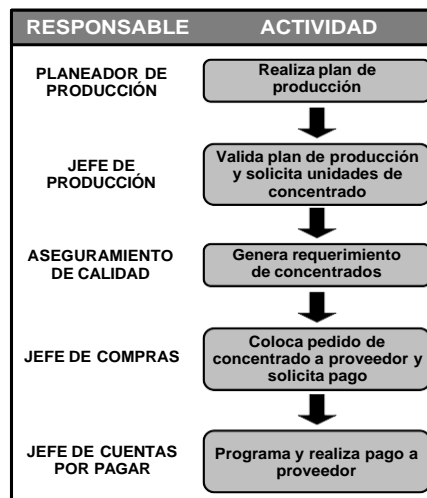
Para RVC, como para muchas empresas, es de suma importancia reducir los niveles de inventarios de productos y materias primas, así que llevar a cabo la implementación del MRP y con ello reducir los costos del inventario, es un caso de éxito; El artículo nos muestra como se fue llevando a cabo la implementación del MRP para la planeación de concentrados. Se muestra como se mide y controla esta mejora a través de indicadores puntuales como el nivel de inventario en días piso, y se comprueba la mejora a través de pruebas de hipótesis estadísticas.

1.1 Antecedentes

El proceso anterior en el suministro de concentrado de esta industria embotelladora era de la forma siguiente como se muestra en la Figura 1. y se detalla a continuación:

Planeador de Producción.- Su proceso comienza los martes, una vez que el planeador de la demanda carga en el sistema de planeación, la demanda y plan promocional de la siguiente semana. El planeador de la producción revisa los inventarios de los productos a fabricar y genera órdenes de producción para abastecer las necesidades de los clientes. Una vez que genera el plan de producción se lo manda el mismo martes al jefe de producción.

Figura 1 Diagrama de flujo anterior del proceso de suministro de concentrados



Jefe de Producción.- Traduce las producciones programadas que están en cajas de producto, a unidades de concentrado. Esto de acuerdo a los rendimientos de los diferentes concentrados.

Aseguramiento de Calidad.- Desde siempre el departamento de aseguramiento de calidad al tener a cargo los concentrados y la preparación de jarabes, es el área que genera las necesidades de compra de concentrado. Revisan sus existencias de concentrado y solicitan al jefe de compras las unidades de concentrado que se requieren para producir la siguiente semana. Este requerimiento lo realizan dos veces a la semana; los días martes pasan el requerimiento al jefe de compras para que llegue el día jueves, y los días jueves para que llegue el día lunes. Es decir que el proveedor surte dos veces a la semana, los lunes y jueves.

Jefe de Compras.- Genera las órdenes de compra y levanta los pedidos al proveedor vía internet (e- procurement); obtiene el monto de dichos pedidos y solicita al área de finanzas el pago de los pedidos de concentrado, esto lo hace el mismo día que tiene el requerimiento por parte de calidad, los días martes y jueves.

Jefe de Cuentas por pagar.- En cuanto recibe los montos a pagar para los requerimientos de concentrado programa con el banco el depósito al proveedor. Los concentrados son los únicos materiales que se pagan anticipadamente. El requerimiento que le pasan el martes, lo programa pagar el jueves y ese mismo jueves lo surte el proveedor. El requerimiento del jueves se paga el lunes y ese mismo día es surtido.

Como se puede notar este proceso es lento y con actividades muy dependientes que no agregan valor. Intervienen 5 personas que más que ayudar aumentan el factor de falla al pasar información de un departamento a otro. Esta artículo mejora este proceso y lo automatiza ya que no se tenía activo el MRP para la planeación de concentrados.

Los concentrados es la principal materia prima, para esta empresa embotelladora, ya que representan el 25% de su gasto total.

Nivel de Inventario anterior

En la Tabla, se muestran los días piso de inventario mensual a partir de enero 2007 a junio 2010. Calculándose los días piso de inventario de la siguiente forma:

Días de Inventario

$$\text{DÍAS DE INVENTARIO} = \frac{\text{COSTO DEL INVENTARIO AL FIN DE MES}}{\text{PROMEDIO DEL VALOR DE MATERIA PRIMA USADO EN EL MES}}$$

Tabla 1 Nivel de inventario promedio de los últimos 42 meses

AÑO	MESES	INVENTARIO A FIN DE MES	COSTO DEL INVENTARIO	COSTO DE LOS CONSUMOS DEL MES	DÍAS TRABAJADOS EN EL MES	DÍAS DE INVENTARIO				
1	2007	ENE	857 \$	8,550,625	1,972 \$	19,058,971	26	11.64		
2	2007	FEB	838 \$	9,800,333	1,978 \$	20,590,347	25	11.90		
3	2007	MAR	1,374 \$	15,784,387	2,263 \$	24,247,242	27	17.55		
4	2007	ABR	1,170 \$	15,510,876	2,474 \$	26,628,320	25	12.66		
5	2007	MAY	1,434 \$	16,027,113	2,760 \$	29,572,695	26	14.04		
6	2007	JUN	900 \$	10,248,537	2,519 \$	27,042,054	26	9.85		
7	2007	JUL	857 \$	10,004,212	2,462 \$	26,321,023	26	9.88		
8	2007	AGO	891 \$	10,569,715	2,624 \$	27,968,677	27	10.20		
9	2007	SEP	1,055 \$	12,328,742	2,513 \$	22,513,039	25	13.81		
10	2007	OCT	1,301 \$	14,095,348	2,304 \$	24,652,853	27	15.44		
11	2007	NOV	1,303 \$	12,809,632	2,709 \$	26,289,982	25	12.19		
12	2007	DIC	1,164 \$	10,545,525	2,820 \$	27,516,702	24	9.27		
13	2008	ENE	1,011 \$	9,036,841	2,778 \$	25,322,364	26	9.10		
14	2008	FEB	825 \$	9,008,000	2,720 \$	23,895,608	25	9.43		
15	2008	MAR	907 \$	10,296,322	2,860 \$	27,597,633	26	9.70		
16	2008	ABR	1,245 \$	14,784,719	3,193 \$	30,194,363	26	12.73		
17	2008	MAY	658 \$	6,855,529	3,303 \$	32,760,217	27	5.68		
18	2008	JUN	730 \$	8,329,684	3,000 \$	28,195,280	25	7.39		
19	2008	JUL	777 \$	7,030,289	2,907 \$	27,164,592	25	7.25		
20	2008	AGO	834 \$	9,489,464	3,007 \$	27,054,132	26	8.13		
21	2008	SEP	1,106 \$	12,429,612	2,750 \$	25,109,858	25	12.38		
22	2008	OCT	1,091 \$	10,583,487	2,689 \$	25,439,140	27	11.23		
23	2008	NOV	521 \$	5,878,437	2,482 \$	23,571,713	25	6.23		
24	2008	DIC	778 \$	9,398,707	2,947 \$	29,473,471	25	8.26		
25	2009	ENE	914 \$	11,801,705	2,864 \$	31,230,242	25	9.05		
26	2009	FEB	795 \$	8,583,142	2,324 \$	26,839,496	23	7.39		
27	2009	MAR	810 \$	10,134,276	2,500 \$	28,887,949	25	8.77		
28	2009	ABR	1,245 \$	14,784,719	2,733 \$	32,766,359	27	12.18		
29	2009	MAY	658 \$	6,855,529	3,303 \$	38,065,706	25	4.70		
30	2009	JUN	1,172 \$	13,397,851	3,187 \$	36,354,515	25	9.21		
31	2009	JUL	836 \$	9,913,168	3,187 \$	38,555,456	27	6.98		
32	2009	AGO	1,042 \$	12,335,654	3,139 \$	37,667,124	26	8.75		
33	2009	SEP	731 \$	8,862,893	2,824 \$	33,493,664	26	6.88		
34	2009	OCT	1,801 \$	18,039,437	2,917 \$	33,197,347	27	14.69		
35	2009	NOV	958 \$	10,445,048	2,529 \$	28,263,617	25	9.24		
36	2009	DIC	1,955 \$	21,101,429	3,394 \$	36,189,067	26	13.16		
37	2010	ENE	1,111 \$	12,364,313	2,317 \$	24,760,522	24	12.08		
38	2010	FEB	893 \$	10,123,057	2,637 \$	27,925,253	23	8.34		
39	2010	MAR	1,284 \$	13,113,783	3,081 \$	31,294,668	27	11.31		
40	2010	ABR	777 \$	8,862,893	3,483 \$	34,472,915	27	8.78		
41	2010	MAY	1,075 \$	11,664,968	3,203 \$	32,568,812	28	10.09		
42	2010	JUN	784 \$	8,315,684	3,633 \$	36,555,246	28	6.43		
						PROMEDIO	1.006 \$	11,133,582		10.11
						DESV				2.92
						VAR				8.53

Los datos de la Tabla 1 servirán como muestra para el proceso anterior de la implementación del MRP en RVC.

Objetivo

Este proyecto busca implementar el MRP para la planeación y suministro de concentrados en RVC para alinearlos a los requerimientos de la cadena de suministros global del negocio.

Además se pretende aplicar herramientas de Ingeniería Industrial para lograr los siguientes objetivos específicos:

Reducir el nivel de inventario de concentrados un 41 %; de 10.11 días de inventario a 6 días de inventario promedio.

Disminuir un 41% el costo mensual del inventario de concentrados sin afectar el abastecimiento. Esto representa un ahorro mensual estimado de \$ 4, 526,170 pesos. Y genera un ahorro real de \$565,771. Este segundo objetivo específico se cuantifica con la información de la Tabla 1. Y se observa a detalle en la Tabla 2

Tabla 1.1 Objetivos Específicos

	INVENTARIO PROMEDIO MENSUAL	COSTO DEL INVENTARIO PROMEDIO MENSUAL	PROMEDIO DE CONSUMOS MENSUAL	COSTO PROMEDIO DE CONSUMOS MENSUAL	DÍAS PROMEDIO MENSUALES	DIAS DE INVENTARIO PROMEDIO
PROMEDIO	1,006	\$ 11,133,582	2,783	\$ 28,975,856	26	10.11
			OBJETIVO DE REDUCCIÓN	AHORRO EN EL COSTO DEL INVENTARIO	UTILIDAD ESPERADA	AHORRO REAL
			41%	\$ 4,526,170	12.5%	\$ 565,771

Implementación

Durante el desarrollo del proyecto se activará el MRP para la planeación y suministro de concentrados en RVC; esto dentro del software de planeación ARETE. Por lo que el primer paso para esta implementación es tener las listas de materiales (BOM, por sus siglas en inglés Bill of Material) en el software de planeación ARETE. Por lo que se desarrolló una interface que pase la información de SAP (el software de Administración global de la empresa) a ARETE, y se revisaron 130 listas de materiales para validar que la información de rendimiento de concentrado sea real.

Una vez que las listas de materiales han sido actualizadas, se tienen que parametrizar los materiales en el sistema para que se puedan generar requerimientos de compra de concentrados.

Los materiales pasan vía interface de SAP a ARETE. Se tienen que parametrizar en ARETE los concentrados en la tabla: Edit Plant-Material Settings. Los campos a llenar por cada concentrado y cada planta se muestran en la Tabla 3.

Una vez parametrizados los materiales de concentrado en el sistema, se realizó un análisis ABC de los concentrados que se manejan en RVC para establecer estrategias de planeación y suministros. En la Tabla 4 se muestra el resultado del análisis ABC para los concentrados de RVC.

Tabla 1.2 Clasificación ABC para los concentrados de RVC

	CANTIDADES		MONTO		% ACUMULADO	
	10,197.00		\$103,106,178			
11319	6,455		\$ 69,804,672	68%	68%	A
11805	685		\$ 4,687,170	5%	72%	A
10002	238		\$ 3,764,845	4%	76%	A
11760	462		\$ 3,368,226	3%	79%	A
11799	468		\$ 3,286,477	3%	82%	A
11804	447		\$ 3,107,128	3%	85%	A
10003	131		\$ 2,728,402	3%	88%	A
10819	183		\$ 1,816,277	2%	90%	A
11790	165		\$ 1,601,263	2%	91%	B
11761	130		\$ 1,290,167	1%	93%	B
10005	80		\$ 1,276,677	1%	94%	B
11397	73		\$ 1,152,884	1%	95%	B
10004	197		\$ 1,070,862	1%	96%	B
11762	132		\$ 1,015,360	1%	97%	C
11637	102		\$ 901,144	1%	98%	C
10007	81		\$ 510,602	0%	98%	C
11265	29		\$ 284,669	0%	99%	C
11850	29		\$ 282,614	0%	99%	C
11266	25		\$ 247,488	0%	99%	C
11267	25		\$ 243,191	0%	99%	C
10630	20		\$ 208,158	0%	100%	C
10619	10		\$ 157,872	0%	100%	C
11641	9		\$ 89,247	0%	100%	C
11789	8		\$ 79,097	0%	100%	C
11851	9		\$ 68,657	0%	100%	C
11409	4		\$ 63,031	0%	100%	C

La cifra del monto es obtenida de los concentrados comprados de enero a abril del 2010. En este análisis se observa que de 26 concentrados que se manejan actualmente, en 8 concentrados se encuentra el 90% de costo. Estos 8 se clasifican como A. Con 4 concentrados más serian el 95 %. Por lo que se opta por incluir el concentrado 10004 como clasificación B para que sea el 96% del costo. Ya que el concentrado 10004 es un producto estratégico para el negocio.

Para todos los concentrados se generará requerimiento de suministro de materiales a través del MRP y solo para los materiales clase A y B (13 materiales) se les va determinar un inventario de seguridad para satisfacer cualquier variación en la demanda que se pueda presentar. De los materiales clase C no se tendrá inventario de seguridad y se pedirán de acuerdo al MRP.

Usamos la ecuación 2, para calcular el inventario de seguridad:

Inventario de Seguridad

$$SS = (\sigma)(z) \quad (1)$$

Con un nivel de servicio del 99% nos da un valor de área bajo la curva después del 50% de 0.4901 y un valor Z de 2.33, que se utilizará como factor de seguridad. Se utiliza el nivel de servicio del 99% que es el nivel de servicio que la embotelladora da a sus clientes.

Haciendo los cálculos en Excel y tomando los consumos de los primeros seis meses del año 2010, para los concentrados clase A y B, se calculó su desviación estándar y el inventario de seguridad para cada planta de RVC obteniendo la Tabla.

Tabla 1.3 Clasificación ABC para los concentrados de RVC

CLASE	MATERIAL	PLANTA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL	DES. STD.	SS MENSUAL	SS SEMANAL
A	10002	QRO	60	30	96	72	60	78	396	22	52	13
A	10003	SJR	26	26	36	39	34	49	210	9	20	5
A	10819	SJR	29	32	43	49	52	48	253	10	22	6
A	11319	SJR	849	980	1,041	1,230	1,292	1,402	6,794	210	488	122
A	11319	QRO	678	810	942	960	816	978	5,184	117	272	68
A	11760	SJR	94	89	128	157	128	175	771	34	79	20
A	11799	SJR	109	107	111	183	128	147	785	30	69	17
A	11804	SJR	88	100	122	142	143	131	726	23	53	13
A	11805	SJR	129	179	197	265	212	259	1,241	51	119	30
B	10004	SJR	42	64	51	68	82	60	367	14	32	8
B	10005	SJR	18	20	22	30	27	26	143	5	11	3
B	11397	SJR	16	36	20	20	16	9	117	9	21	5
B	11761	SJR	28	26	51	42	39	48	234	10	24	6
B	11790	QRO	24	41	68	34	46	52	265	15	35	9
TOTAL UNIDADES												325

Se obtiene primeramente el inventario de seguridad mensual, pero debido a que las entregas de parte del proveedor son 2 veces a la semana, se divide el inventario de seguridad mensual entre 4 para obtener el inventario de seguridad semanal.

Ejemplo para calcular el inventario de seguridad para el material 11319 en la planta de Querétaro (QRO):

$$SS = (\sigma)(z)$$

$$SS (11319) = (210)(2.33)$$

$$SS (11319) = 488 \text{ Mensual}$$

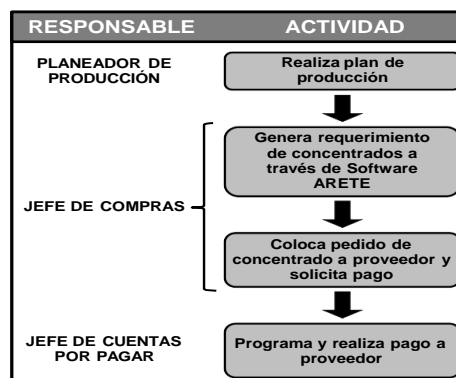
$$SS (11319) = 488 / 4 = 122$$

$$SS (11319) = 122 \text{ unidades/semana}$$

Teniendo ya los inventarios de seguridad, establecidos e identificados los parámetros a configurar en el software de planeación ARETE, se cargó el sistema con esta información.

Esto se llevó a cabo en un tiempo de dos meses. Durante este tiempo se revisaron todas las cartas de materiales de los 130 productos, los parámetros y se cargaron en el sistema de planeación ARETE, que utiliza la empresa para la planeación de la cadena de suministro.

Realizado todo lo anterior, el siguiente paso fue establecer el procedimiento por escrito y difundirlo a las áreas involucradas; quedando de acuerdo a la Figura.

Figura 1.1 Proceso mejorado para la planeación de requerimientos de concentrados

Como se puede observar, únicamente intervienen en el proceso 3 personas, las cuales cumplen sus funciones específicas y se permite que el software de forma automática genere las necesidades. Sin decisiones aleatorias o al libre albedrío.

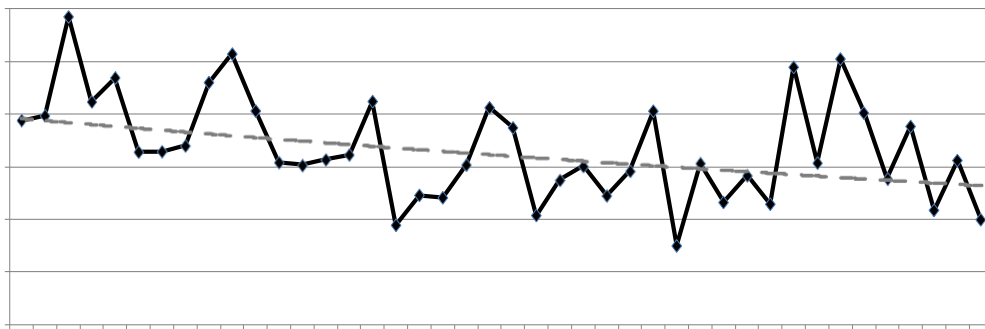
La parte del proceso que más sufrió cambios es en las actividades del jefe de compras, en donde se quitó al jefe de producción y aseguramiento de calidad, para que a través del software se generen las necesidades de suministro de concentrados.

Una vez que esté hecho el plan de producción en ARETE, es obligación del jefe de compras entrar al sistema y generar vía MRP los requerimientos de los concentrados automáticamente, para solicitarlos al proveedor y programar la entrega. De la misma manera solicita al área de finanzas el pago de los concentrados. Todo esto los martes y jueves, tomando de ARETE el último plan de producción.

Resultados y Análisis estadístico del caso

Una vez que ya se implantó el MRP en RVC para la planeación de concentrados y está establecido el procedimiento de suministro. Se mide el desempeño de la implementación para los siguientes meses. Los meses anteriores que se analizaron son los que se muestran en la Tabla 1. Gráficamente se pueden observar en la Figura 3.

Figura 1.2 Días de inventario de los últimos 42 meses



Se puede observar una tendencia total a la baja en el nivel de inventario, sin embargo no está controlada, pues el nivel menor que se obtiene este 4.5 días en mayo/2009, pero en el mes anterior de abril/2009 el nivel de inventario es de 12.18 días, y en el mes de junio/2009 de 9.21 días.

El nivel de inventario más alto fue de 17.55 días, en el mes de marzo/2009. De ahí en adelante se observa una tendencia global a la baja, con crestas, lo que da notar la inconsistencia de un proceso bajo control.

Durante los meses de mayo y junio del 2010, se trabajó en la parametrización e implementación del MRP en el software de planeación ARETE. Los meses en donde ya se trabajó completamente con el MRP fueron de julio/2010 a abril/2011. Durante el mes de junio/2010, se comenzaron a notar los resultados de la implementación del MRP.

Los resultados obtenidos para estos meses siguiendo la misma metodología para calcular el nivel de inventario en días piso son los que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 1.4 Días de inventario obtenidos como resultado de la implementación

	AÑO	MES	INVENTARIO AL FIN DE MES	COSTO DEL INVENTARIO	CONSUMOS DEL MES	COSTO DE LOS CONSUMOS DEL MES	DIAS TRABAJADOS EN EL MES	DIAS DE INVENTARIO
43	2010	JUL	590	\$ 6,580,854	3,576	\$ 36,219,821	27	4.91
44	2010	AGO	924	\$ 10,819,535	3,091	\$ 31,446,022	25	8.60
45	2010	SEP	1,017	\$ 11,115,176	3,168	\$ 32,799,049	27	9.15
46	2010	OCT	559	\$ 5,709,276	2,907	\$ 30,437,448	26	4.88
47	2010	NOV	787	\$ 8,015,429	2,912	\$ 29,397,948	26	7.09
48	2010	DIC	1,557	\$ 16,241,874	3,281	\$ 33,885,851	27	10.94
49	2011	ENE	1,071	\$ 11,338,572	2,764	\$ 29,339,877	25	9.66
50	2011	FEB	790	\$ 8,436,596	2,624	\$ 27,811,472	24	7.28
51	2011	MAR	877	\$ 8,896,175	3,129	\$ 32,940,397	26	7.02
52	2011	ABR	686	\$ 7,526,274	3,228	\$ 33,801,812	24	5.34
PROMEDIO			886	9,467,976			MEDIA	7.49
							DESV	2.09
							VAR	4.35

Se evaluaron 10 meses como resultado de la implementación del MRP y hasta el cierre de esta edición se considera un como buen horizonte de datos para realizar un análisis estadístico formal.

En la Tabla 6 se observa como disminuyó un 25.6% el nivel de inventario promedio, de 10.11 días de inventario a 7.52 días de inventario implementando el MRP para la planeación de concentrados.

Utilizando la Tabla 1 como una muestra de días de inventario antes de la implementación del MRP; y la Tabla 6 como la muestra después de la implementación del MRP (proceso mejorado), se realiza las siguientes pruebas de hipótesis para demostrar el éxito de la implementación. El primer paso es comprobar si los datos de las dos poblaciones son normales.

Prueba de hipótesis de normalidad de las muestras

Lo que nos interesa conocer primeramente es saber si los datos de las dos muestras, Tabla 1 y 6 son normales. Las hipótesis planteadas para esta prueba son:

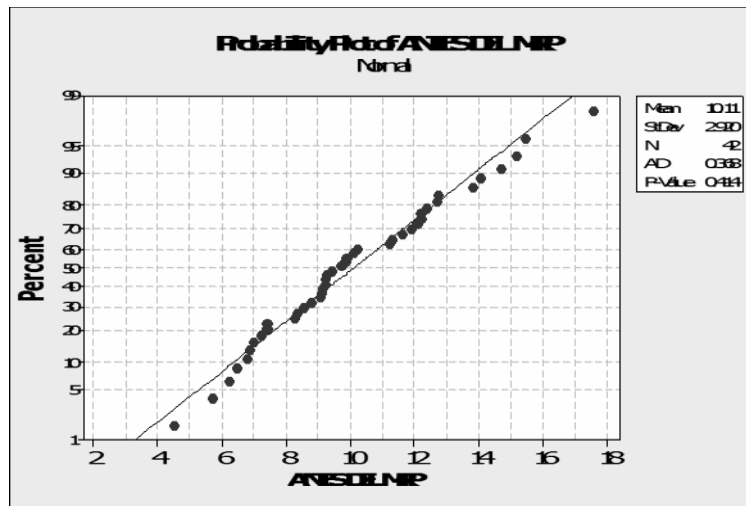
H0: Los datos son normales

Ha: Los datos son no-normales

Al 95% de confianza

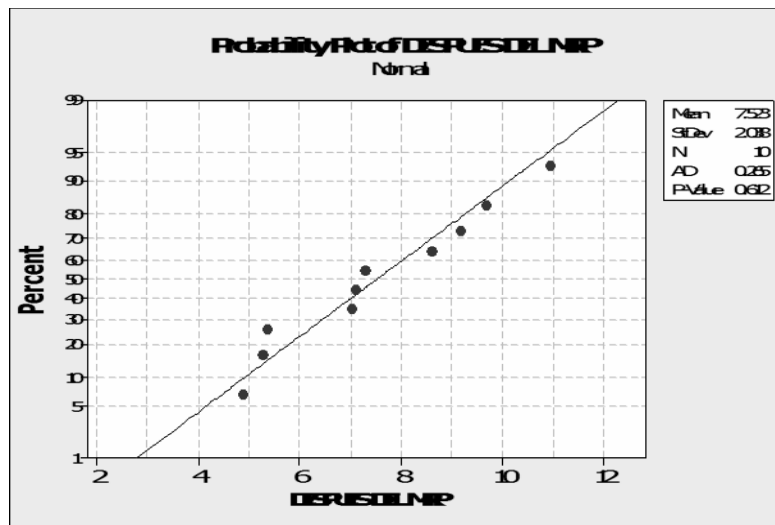
Por lo que en el software MINITAB se realiza la prueba de normalidad para ambas muestras. Para los datos de la Tabla 1, que son los 42 meses antes de la implementación del MRP se obtiene la Figura 4, y con un valor p de 0.414, que es mayor que 0.05. Se puede concluir que estadísticamente estos datos se comportan dentro de una distribución normal.

Figura 1.3 Prueba de normalidad para los 42 meses antes del MRP



Para los datos de la Tabla 6, que son los 10 meses después de la implementación del MRP se obtiene la Figura 5, y con un valor p de 0.612, que es mayor que 0.05. Se puede concluir que estadísticamente estos datos se comportan dentro de una distribución normal.

Figura 1.4 Prueba de normalidad para los 10 meses después del MRP



Con estas dos pruebas podemos aceptar la hipótesis H_0 : Los datos son normales, Inclusive se observa una reducción de la desviación estándar de los niveles de inventario después de la implementación del MRP y por consecuencia el valor p de esta muestra se comporta más como una distribución normal que los datos de antes de la implementación del MRP.

Prueba de homogeneidad de varianzas

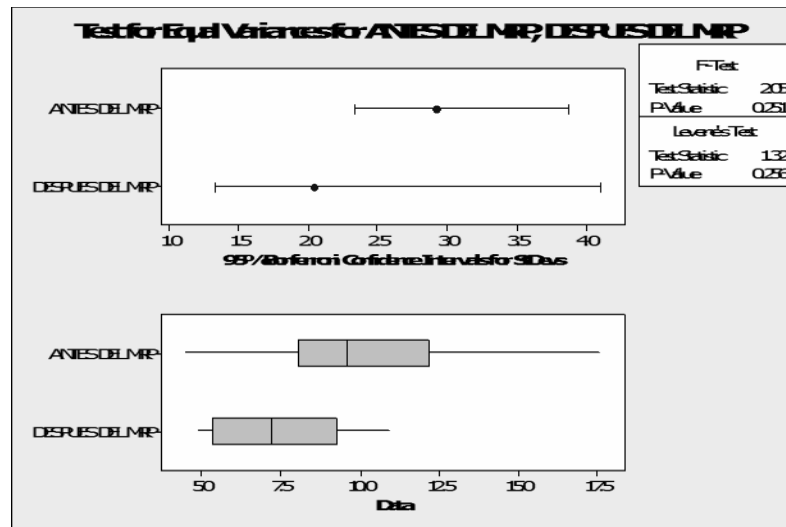
Una vez que se comprobó que los datos de las dos muestras son normales, el paso a seguir es comprobar si las varianzas de las dos muestras son iguales, a través de una prueba de homogeneidad de varianzas. Con el apoyo de MINITAB se utiliza el estadístico F, ya que comprobamos que los datos se comportan dentro de una distribución normal.

Cabe mencionar que el MINITAB 15, que es con el que se trabajó en esta tesis también da el resultado automáticamente de la prueba de LEVENE, que generalmente se utiliza para muestras que no se comportan dentro de una distribución normal. Se establece como hipótesis y nivel de confianza las siguientes:

H0: Las Varianzas de las muestras son iguales Ha: Las Varianzas de las muestras no son iguales
Al 95% de significancia

Con esta información se obtiene la Figura 6 y se puede observar que el valor P para el estadístico F es 0.251, que es mayor de 0.05 por lo que podemos concluir que existe evidencia para aceptar la hipótesis H0: Las Varianzas de las muestras son iguales. Por lo que no hay evidencia para concluir que las variaciones son diferentes.

Figura 1.5 Prueba de homogeneidad de varianzas antes y después del MRP



Prueba de hipótesis para la diferencia de medias antes del MRP y después del MRP

Conociendo ya que los datos de ambas muestras se comportan como una distribución normal y que las varianzas son iguales, ahora hay que requerir demostrar que el promedio de los días de inventario después de la implementación del MRP (μ_2) es mejor que el proceso anterior (μ_1), bajo las siguientes hipótesis:

H0: $\mu_1 = \mu_2$, las medias de las muestras son iguales

Ha: $\mu_1 > \mu_2$,

Siendo μ = promedio de días de inventario

Por ser diferencias de muestras para comparar 2 medias se utiliza el estadístico t, con un nivel de confianza del 95%. El numero de muestras es diferente debido al tiempo transcurrido de la implementación y de los cuales no se alcanzó a tener un tamaño de muestra igual al proceso anterior, sin embargo con la prueba “t” no hay restricciones en este sentido y para la aplicación de la prueba se puede utilizar tamaños de muestras diferentes, con lo que el resultado tendrá el mismo nivel de confianza.

Los datos para el proceso anterior al MRP (μ_1) son los que se han venido manejando de la Tabla 1 y se analizaron los 42 meses anteriores a la implantación del MRP. Y para μ_2 los 10 datos obtenidos después de la implementación del MRP, Tabla 6.

La fórmula que se utiliza para el cálculo manual del valor - t para la comparación de dos medias muestrales es la Ecuación 3.

Calculo Manual de la prueba t

(1.1)

En donde:

μ_1 = media del proceso anterior

μ_2 = media del proceso mejorado

n_1 = tamaño de muestra proceso anterior n_2

= tamaño de muestra proceso mejorado S_1^2

= varianza del proceso anterior

S_2^2 = varianza del proceso mejorado

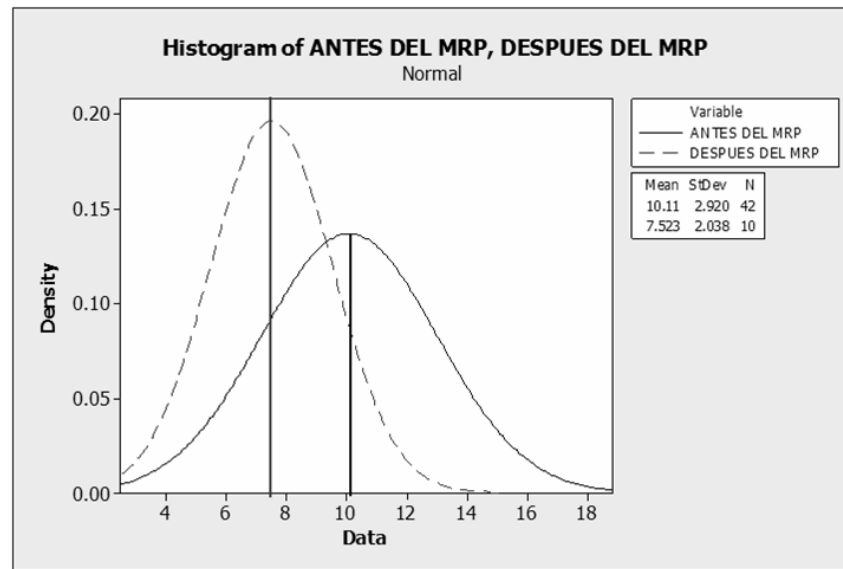
GL = Grados de Libertad

Sustituyendo los valores de las tablas 1 y 6, se obtiene:

$$t = 2.6459$$

Este valor $t = 2.6459$, comparándolo con el valor t de tablas con 50 grados de libertad y un nivel de confianza del 95% $t = 1.6759$; es mayor. Por lo que podemos rechazar $H_0: \mu_1 = \mu_2$, las medias de las muestras son iguales; y concluimos que la media de antes de la implementación del MRP es mayor que la del proceso después de la implementación del MRP. Y se puede confirmar que ha habido una reducción significativa en el promedio de los inventarios a un nivel de significancia del 95 %.

En la figura se grafica con ayuda del MINITAB las curvas normal de las muestras, en línea continua y negra la curva del proceso antes de la implementación del MRP y en línea punteada en color rojo los datos del proceso después de la implementación del MRP. Se reafirma visualmente que los datos se comportan dentro de una distribución normal y como en los datos de antes del MRP la variabilidad es mayor que después del MRP.

Figura 1.6 Grafica de la distribución normal para ambas muestras

Esta misma operación se puede hacer desde MINITAB y se obtiene la Tabla 7. La cual muestra el resumen obtenido de las dos muestras, antes y después del MRP, con un valor t, igual al que se calculó manualmente de $t = 2.64$ y un valor $p = 0.005$, con un nivel de confianza del 95% y 50 grados de libertad. Con este valor $p = 0.005$ que es menor 0.05 podemos aceptar la hipótesis: H_a :

$\mu_1 > \mu_2$. Que la media del proceso mejorado después de la implementación del MRP es menor que la media antes de la implementación del MRP. Por lo que hubo una reducción significativa en el nivel de inventario.

Tabla 1.5 Resumen de MINITAB, para la prueba de medias de las muestras antes y después del MRP.

Two-Sample T-Test and CI: ANTES DEL MRP, DESPUES DEL MRP

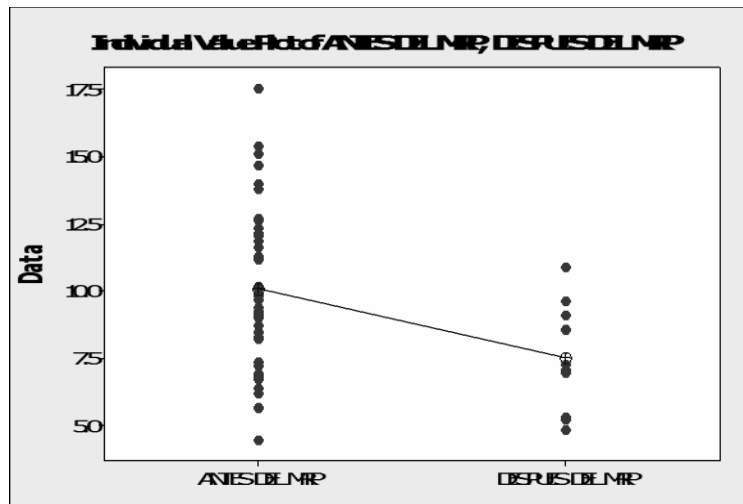
Two-sample T for ANTES DEL MRP vs DESPUES DEL MRP

	N	Mean	StDev	SE Mean
ANTES DEL MRP	42	10.11	2.92	0.45
DESPUES DEL MRP	10	7.52	2.04	0.64

Difference = μ (ANTES DEL MRP) - μ (DESPUES DEL MRP)
 Estimate for difference: 2.587
 95% lower bound for difference: 0.946
 T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 2.64 P-Value = 0.005 DF = 50
 Both use Pooled StDev = 2.7819

Además de este resumen MINITAB también se presenta la grafica de valores individuales, Figura 8. Se nota la gran dispersión de datos en la muestra antes de la implementación del MRP, con un valor mínimo inferior a 5 y un valor máximo de 17.5. A diferencia de la muestra después del MRP que está más reducida. Y se puede notar como hay una reducción significativa en las medias de 10.11 a 7.5.

Figura 1.7 Grafica de valores individuales para las muestras antes y después del MRP



Con lo anterior se ha comprobado que se ha logrado el objetivo general de la implementación para reducir el nivel de inventario de los concentrados. Ahora bien se va a comprobar estadísticamente si se logra el objetivo específico de reducir el nivel de inventario a 6 días.

Como ya se demostró estadísticamente los 42 datos de la muestra antes de la implementación del MRP de la tabla 1 y los 10 datos después de la implementación del MRP de la tabla 6, son muestras que se comportan dentro de una distribución normal con varianzas homogéneas. Por lo que se utilizará nuevamente el estadístico $-t$, pero con la variante de comparar una media con un valor objetivo, utilizando la ecuación 4.

Calculo Manual de la prueba t con un valor objetivo

En donde:

X = la media observada

μ = el valor esperado

S = desviación estándar de la muestra n = tamaño de muestra observada

La hipótesis que se va a comprobar es:

$H_0: \mu = 6$, la media después del MRP es igual a 6 $H_a:$

$\mu > 6$, la media después del MRP es mayor a 6

Siendo μ = promedio de días de inventario

Sustituyendo estos los valores de la muestra después de la implementación del MRP de los 10 datos de la tabla 6, se obtiene:

$$\frac{2.038}{10}$$

$$10$$

$$t = 2.358$$

Este valor $t = 2.358$, comparándolo con el valor t de tablas con 10 grados de libertad y un nivel de confianza del 95% $t = 1.812$; es mayor. Por lo que se debe rechazar $H_0: \mu = 6$, la media después del MRP es igual a 6; y concluimos que el valor de la media después de la implementación del MRP no es de 6 y por consecuencia no se ha alcanzado el objetivo específico de reducir el nivel de inventario a 6 días con un nivel de confianza del 95 %.

En MINITAB se obtiene el mismo valor t de 2.36 como se hace mención en el resumen de la tabla.

Tabla 1.6 Resumen de MINITAB, para la prueba t con un valor objetivo de 6

One-Sample T: DESPUES DEL MRP							
Test of $\mu = 6$ vs > 6							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Lower Bound	T	P
DESPUES DEL MRP	10	7.523	2.038	0.645	6.342	2.36	0.021

Y un valor P de 0.021 que es menor de 0.05 por lo que se rechaza la $H_0: \mu = 6$, la media después del MRP es igual a 6 y aceptar que la media después de la implementación del MRP no alcanzo el objetivo específico de 6 días de inventario. Esto con un nivel de significancia del 95%.

Pero si se tomara un nivel de significancia del 98%, se tendría un valor P mayor que 0.02 y podríamos aceptar $H_0: \mu = 6$; esto para la significancia estadística está bien, pero se observa fácilmente que la media obtenida de 7.523 días de inventario, es mayor que 6 días. Por lo que en la significancia práctica y para esta implementación, esto no es aceptable pues se está 1.523 días de inventario por arriba del objetivo real y eso representa económicamente poco mas de 1.6 millones de pesos.

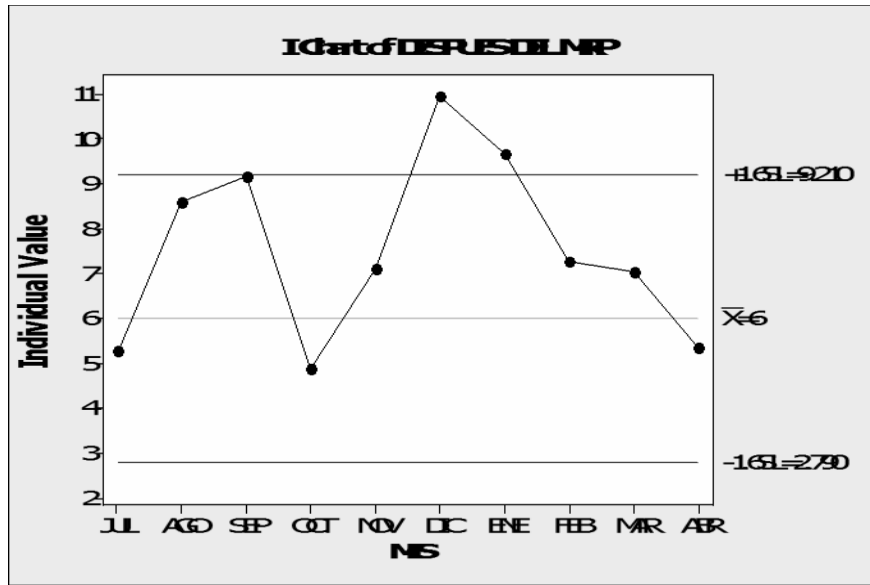
Es muy importante aclarar que durante la implementación del MRP, RVC ha vivido uno de los proyectos más grandes de su historia que es el cerrar la operación de una de sus plantas con 2 líneas de producción (una de estas líneas, la más productiva del grupo). Y trasladar esta operación a la otra planta ubicada en San Juan del Río, Querétaro. Para tener una sola planta productora.

El proceso del paró de líneas en QRO se realizó durante los meses de agosto y septiembre del 2010. Por lo cual se tuvo que subir el nivel de inventario en las materias primas como el concentrado para poder producir consistentemente y subir los niveles de inventarios de productos. Es por esta razón que en los meses de agosto y septiembre del 2010 que se muestran en la tabla 11 a principio de este capítulo se obtuvieron los niveles de inventario de 8.6 días y 9.15 días de inventario.

Después de que paró la planta de RVC Querétaro y se trasladaron estas dos líneas de producción a San Juan del Río, estas arrancaron producción en San Juan del Río durante los meses de diciembre/2010 y enero/2011. Fue un proceso de arranque lento e inconsistente en las producciones, es por eso que durante estos dos meses los niveles de inventario se incrementaron 10.94 días y 9.66 respectivamente.

Para notar estos comportamientos se decidió realizar un grafico de control de datos individuales en MINITAB, fijando la media objetivo de 6 días de inventario y los limites de control a +/- 1.645 desviaciones estándar, esto para tener un nivel de confianza en el suministro de concentrados de 95%. Con estos parámetros se obtiene la figura 9. En la cual se puede observar 2 de los puntos mencionados anteriormente, fuera de los límites de control. Y los meses de Ago/2010 y Sep/2010 muy cercanos al límite de control superior.

Figura 1.7 Grafica de valores individuales para las muestras antes y después del MRP



Con esta información y con ayuda del grafico de control podemos asumir que existen razones suficientes para justificar la eliminación de estos 4 datos, por lo cual se recalculará el estadístico t con los 6 datos restantes para la prueba objetivo. Los datos a analizar se muestran en la tabla 9.

Tabla 1.7 Muestra después de la implementación del MRP, sin valores de ruido

	AÑO	MES	INVENTARIO AL FIN DE MES	COSTO DEL INVENTARIO	CONSUMOS DEL MES	COSTO DE LOS CONSUMOS DEL MES	DIAS TRABAJADOS EN EL MES	DIAS DE INVENTARIO
43	2010	JUL	590	\$ 6,580,854	3,576	\$ 36,219,821	29	5.27
46	2010	OCT	559	\$ 5,709,276	2,907	\$ 30,437,448	26	4.88
47	2010	NOV	787	\$ 8,015,429	2,912	\$ 29,397,948	26	7.09
50	2011	FEB	790	\$ 8,436,596	2,624	\$ 27,811,472	24	7.28
51	2011	MAR	877	\$ 8,896,175	3,129	\$ 32,940,397	26	7.02
52	2011	ABR	686	\$ 7,526,274	3,228	\$ 33,801,812	24	5.34
PROMEDIO			715	7,527,434			MEDIA	6.15
							DESV	1.09
							VAR	1.19

La hipótesis que se va a comprobar es:

H0: $\mu = 6$, la media después del MRP es igual a 6 Ha: $\mu > 6$, la media después del MRP es mayor a 6 Siendo $\mu =$ promedio de días de inventario

Sustituyendo los valores de esta muestra en la ecuación 4 obtenemos:

$$t = \frac{6.15 - 6}{1.09}$$

$$t = 0.3299$$

Este valor $t = 0.3299$, comparándolo con el valor t de tablas con 6 grados de libertad y un nivel de confianza del 95% $t = 1.943$; es menor. Por lo cual aceptamos $H_0: \mu = 6$, la media después del MRP es igual a 6 y concluimos que se alcanzó el objetivo inicialmente planteado a un nivel de confianza del 95 %.

En MINITAB se obtiene el mismo valor t de 0.33 como se hace mención en el resumen de la tabla 10. El valor p es 0.378 que es mayor de 0.05 por lo que se acepta H_0 y se demuestra que se logra el objetivo de 6 días de inventario de concentrados con la implementación del MRP, quitando 4 factores de ruido.

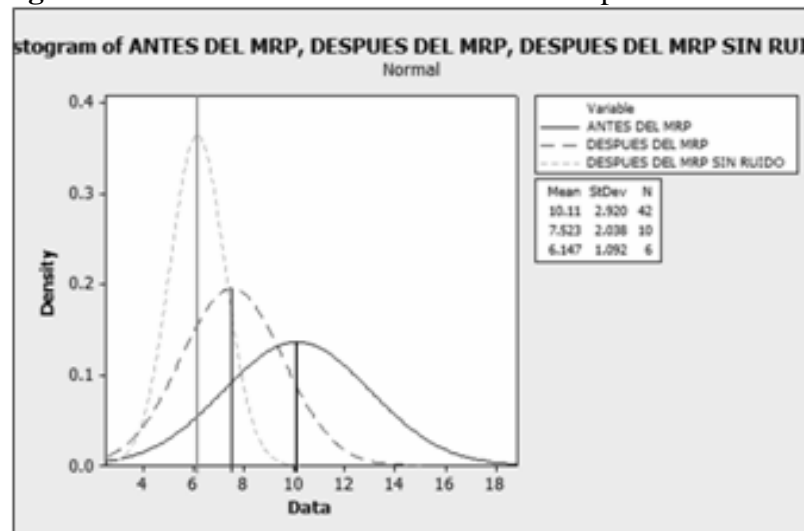
Tabla 1.8 Resumen de MINITAB, para la prueba t con un valor objetivo de 6 sin los valores de ruido

One-Sample T: DESPUES DEL MRP SIN RUIDO							
Test of $\mu = 6$ vs > 6							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Lower Bound	T	P
DESPUES DEL MRP SIN RUID	6	6.147	1.092	0.446	5.248	0.33	0.378

Por último para complementar las pruebas de hipótesis y validaciones que se hicieron, se muestra la figura 10, en donde se grafican las 3 distribuciones normales para las 3 muestras. Se nota como se redujo la dispersión de los datos de la muestra antes del MRP a después de la implementación quitando los valores de ruido.

Se tienen las 3 medias y se logró una reducción de 4 días de inventario lo que representa un ahorro en flujo de efectivo para RVC de más de 4 millones de pesos.

Figura 1.8 Grafica de distribuciones normales para las 3 muestras



1.2 Conclusiones

Se puede concluir que es posible la implementación del MRP para la planeación de concentrados en RVC, utilizando el software de planeación ARETE que utiliza RVC para la planeación de la cadena de suministro. Con esto se alinean a la cadena de suministros los requerimientos de concentrados que son la materia prima más importante para RVC.

La implementación del MRP en el software ARETE, permite una mejor precisión y un proceso automatizado para la planeación de requerimientos de concentrados. Si bien en un principio es complicado por la revisión de materiales, parámetros con los que trabaja el software de planeación y ejecución del sistema; en el mediano plazo se vuelve una herramienta fundamental para la planeación.

El automatizar el proceso de planeación permite al planeador hacer otras actividades que agreguen valor a la empresa como análisis de reducción de inventarios y por ende reducción de costos como esta implementación.

También se puede concluir que con un trabajo planeado y dedicado se pueden obtener resultados y medir estadísticamente la mejora y no solo en un comparativo. Esto se traduce en ahorros para las empresas. Y bien se puede combinar la teoría con la práctica y está sinergia, da a los involucrados una sensación de satisfacción al saber hacer las cosas y hacerlas bien.

Es importante recalcar que el apoyo por parte de la empresa para este tipo de implementaciones juega una pieza clave para el éxito de estos proyectos. Pues se requiere trabajar y tomar decisiones inmediatamente. En este caso se conto con todo el apoyo y toma de decisiones dentro de RVC para el éxito de este proyecto, y se tradujo en ahorros para la empresa.

1.3 Referencias

Blackstone J.H. , Cox J. F. 2004. APICS Dictionary Eleventh Edition. pp 126.

Golhar, D. Y., Sarker, B. R.1992. Economic manufacturing quantity in a just-in-time delivery system. Journal of Production Research. Vol. 30, No. 5, pp. 961-972

Jamal, A. M. M., Sarker, B. R.1993 An optimal batch size for a production system operating under a just-in-time delivery system., International Journal of Production Economics, Vol. 32, No.2, , pp. 255-260.

Orlicky, J. 1975. Material Requirements Planning. McGraw Hill, Londres, Inglaterra, pp 311.

Sarker, B. R., Parija, G. R.1994. An optimal batch size for a production system operating under a fixed quantity, periodic delivery policy. Journal of the operations Research Society, Vol. 45, No. 8, , pp. 891-900.

Silver E.A.1998.Inventory Management and Production Planning and Scheduling, John Wiley and Sons, EU.pp 230.