

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL LEAD TIME EN UNA CADENA DE  
SUMINISTRO EN UN HORIZONTE RODANTE  
DE PLANIFICACIÓN CON FLEXIBILIDAD EN LAS OPERACIONES E  
INCERTIDUMBRE EN LA DEMANDA.**

Trabajo de Tesis

Presentado al

Programa de Maestría en Ingeniería

Por

**Rafael Merlano Porto**

Para optar al Título de

Maestría en Ingeniería Con Énfasis en Industrial

FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2015

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL LEAD TIME EN UNA CADENA DE  
SUMINISTRO EN UN HORIZONTE RODANTE  
DE PLANIFICACIÓN CON FLEXIBILIDAD EN LAS OPERACIONES E  
INCERTIDUMBRE EN LA DEMANDA.**

Trabajo de Tesis  
Presentado al  
Programa de Maestría en Ingeniería

Por

**Rafael Merlano Porto**

Para optar al Título de  
Maestría en Ingeniería Con Énfasis en Industrial

Director

**Ing. Jairo Coronado Hernández**

Magister en Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2015

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Cartagena de Indias D.T. y C., Julio 5 de 2015

Señores:

**COMITÉ EVALUADOR DE MAESTRIA  
PROGRAMA DE MESTRIA EN INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Entrego para su evaluación y consideración del primer avance del trabajo de tesis titulado **“ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL LEAD TIME EN UNA CADENA DE SUMINISTRO EN UN HORIZONTE RODANTE DE PLANIFICACIÓN, CON FLEXIBILIDAD EN LAS OPERACIONES E INCERTIDUMBRE EN LA DEMANDA”**. Como requisito para optar por el título de Magister en Ingeniería con Énfasis en Industrial.

Cordialmente,

---

**RAFAEL MERLANO PORTO**

Cartagena De indias D.T. y C., Julio 5 de 2015

Señores:

**COMITÉ EVALUADOR DE MAESTRIA  
PROGRAMA DE MAESTRIA EN INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Estimados Señores

Con respeto me dirijo a ustedes para comunicarles que he dirigido el presente trabajo de tesis titulado **“ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL LEAD TIME EN UNA CADENA DE SUMINISTRO EN UN HORIZONTE RODANTE DE PLANIFICACIÓN CON FLEXIBILIDAD EN LAS OPERACIONES E INCERTIDUMBRE EN LA DEMANDA”**. Lo anterior es con el fin de hacer entrega del primer avance formal del mismo para que sea sometido a su respectiva evaluación.

Cordialmente

**ING JAIRO CORONADO HERNANDEZ**

Magister en Ingeniería Industrial

**Director del Proyecto**

## Tabla de contenido

1.2	DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	20
1.3	Objetivos.....	22
1.3.1	Objetivo General .....	22
1.3.2	Objetivos Específicos.....	22
1.4	METODOLOGÍA.....	23
2	MARCO TEÓRICO.....	24
2.1	Impacto Del Lead Time En La Cadena De Suministro.....	24
2.2	Impacto del Lead Time en el Sistema de Inventario y Punto de Pedido.....	28
2.3	El Lead Time y Su Impacto en el Sistema de Costos.....	30
2.4	El Lead Time y Su Impacto en el Sistema de Producción .....	33
2.5	El Lead Time y Su Impacto en el Desarrollo de Productos .....	37
2.6	El Impacto de los Tiempos de Entrega en la Programación de la Producción..	38
3	REVISIÓN DE LA BASE CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	40
3.1	Base conceptual del Plan Maestro de Producción (MPS).....	41
3.2	Aspectos Conceptuales Para el MPS en Horizonte Rodante.....	44
3.3	Parámetros, Variables y Función Objetivo, del Modelo Matemático GMOP ...	47
3.3.1	Justificación del Modelo GMOP. ....	47
3.3.2	Antecedentes y Aspectos Básicos del Modelo GMOP.....	47
3.3.3	Modelo Matemático GMOP. ....	49
3.3.4	Modelo Matemático Ajustado GMOP.....	52
3.4	Los Niveles y Tipo de Estructura Del Producto.....	53
3.4.1	Referente conceptual estructura de producto.....	53
3.4.2	Estructuras básicas de productos. ....	54
4.	ORGANIZACIÓN Y DISEÑO METODOLOGICO DE LA SIMULACIÓN .....	57
4.1	Caracterización de las Instancias para la simulación .....	57
4.1.1	Datos y parámetros del sistema. ....	57
4.1.2	Datos de la Matriz de Operacion, basados en el modelo GMOP. ....	59
4.1.2.1	Matriz de Demanda por producto. ....	60
4.1.2.2	Costo de Almacenamiento de una unidad. ....	61
4.1.2.3	Tiempo de operación para la ejecución de una unidad de Stroke.....	61
4.1.2.4	Tiempo de Setup del <i>Stroke</i> , $k$ , en el <i>Recurso</i> , $r$ ( $r = 3$ ). ....	62
4.1.2.5	Costo de Planificar la ejecución de una unidad de <i>Stroke</i> ( $k$ ) .....	63

4.1.2.6	Costo de Setup de una unidad de <i>Stroke</i> ( $k$ ) durante el <i>Periodo</i> ( $t$ ) . . . . .	64
4.1.2.7	Nivel inicial del inventario de <i>SKUs</i> , para toda $i$ . . . . .	65
4.1.2.8	Capacidad disponible del recurso ( $r$ ), durante el periodo $t$ . . . . .	65
4.1.2.9	Número de unidades <i>SKUs</i> , como resultado de un <i>Stroke</i> . . . . .	66
4.1.2.10	<i>SKUs</i> consumidos por cada <i>Stroke</i> . . . . .	67
4.1.2.11	Tiempo de entrega de un <i>Stroke</i> en cada nivel. $Lt_k$ . . . . .	68
4.1.3	Las estructuras de productos basadas. en <i>Stroke</i> y <i>SKUs</i> . . . . .	69
4.1.3.1	Tipo de estructura-1, con 10 productos y lista de materiales. . . . .	71
4.1.3.2	La estructura Tipo-2, con 10 productos y su respectiva lista de materiales. . . . .	72
4.1.3.3	Tipo de estructura-3, con 10 productos y su respectiva lista de materiales. . . . .	72
4.1.3.4	Tipo de estructura-4, con 10 productos y su respectiva lista de materiales. . . . .	73
4.1.3.5	Tipo de estructura-5, con 10 productos y su respectiva lista de materiales. . . . .	74
4.2	Sistema de Planificación de la Cadena de Suministro . . . . .	75
4.2.1	Metodología general de la simulación para determinar el impacto del LT. . . . .	76
4.2.2	Supuestos experimentales comunes a todos los problemas. . . . .	80
4.3	Estudio de los Factores . . . . .	84
4.4	Estudio de los Factores . . . . .	84
4.4.1	Factor estructura del producto. . . . .	85
4.4.2	Factor lead Time. . . . .	85
4.4.3	Comunalidad. . . . .	87
4.4.3.1	Tipo de estructura-1, y lista de materiales con comunalidad. . . . .	88
4.4.3.2	Tipo de estructura Tipo-2, con comunalidad y lista de materiales. . . . .	89
4.4.3.3	Tipo de estructura-3, con comunalidad y lista de materiales. . . . .	90
4.4.3.4	Tipo de estructura-4, con comunalidad y lista de materiales. . . . .	91
4.4.3.5	Tipo de estructura-5, con comunalidad lista de materiales. . . . .	92
4.4.4	Heterogeneidad de la Demanda. . . . .	93
4.4.5	Coefficiente de variación de la demanda. . . . .	93
4.4.6	Resumen de los factores. . . . .	94
4.5	Variables de Respuesta. . . . .	94
4.5.1	Costos totales. . . . .	95
4.5.2	Costos de Setup. . . . .	95
4.5.3	Costos de stock O Almacenamiento . . . . .	95
4.5.4	Costos por faltantes. . . . .	96
4.5.5	Nivel de servicio. . . . .	96

4.5.6	Nerviosismo del sistema (ordenes de producción).....	97
4.5.7	Complejidad del Sistema.....	100
4.6	Diseño del Experimento .....	103
4.6.1	Hipótesis del modelo. ....	104
4.6.2	Diseño del modelo estadístico.....	104
4.6.3	Arreglo experimental.....	105
5.	ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO.....	107
5.1	Arreglo o Corridas Experimentales Para los Cinco Factores.....	107
5.2	Factores Experimentales y las VR para el Análisis de Varianza .....	108
5.3	Consideraciones Generales para el Análisis de Varianza .....	108
5.4	Verificación de los supuestos del Modelo.....	109
5.5	Análisis de Varianza para Cinco Factores Experimentales .....	109
5.5.1	Análisis de varianza para los “Costos Totales”. .....	109
5.5.2	Análisis de Varianza para “Costos de Inventario”.....	110
5.5.3	Análisis de Varianza para las variables <i>BCR, PCR, SCR, HSR, NSR e ISR</i> ... ..	110
5.6	Análisis de Varianza para Cuatro Factores Experimentales .....	111
5.7	Análisis de Varianza de los “Costos Totales”(TCR) .....	112
5.7.1	Supuestos del modelo. ....	112
5.7.2	Supuesto de independencia.....	113
5.7.3	Resultados del análisis de varianza y la VR “Costo Totales”.....	113
5.7.4	Análisis de medias, (EP) ,(LT) y la variable de respuesta TCR. ....	114
5.7.5	Interacciones dobles para los factores EP , LT y la VR Costo Total (TCR)....	116
5.8	Análisis de Varianza de los “Costos de Inventario”(HCR) .....	117
5.8.1	Supuestos del modelo. ....	117
5.8.2	Supuesto de Independencia.....	118
5.8.3	Resultados del análisis de varianza y la VR “Costo de Inventario”. .....	119
5.8.4	Análisis de medias para EP y LT y la variable de respuesta HCR. ....	119
5.8.5	Interacciones dobles para EP y LT y la VR “Costo del Inventario (HCR). ....	121
5.9	Análisis de Varianza para los “Costos de Faltantes”(BCR) .....	123
5.9.1	Supuestos del modelo. ....	123
5.9.2	Supuesto de Independencia.....	124
5.9.3	Análisis de varianza para la variable de respuesta “Costos de Faltantes”. ...	125
5.9.4	Análisis de medias y contrastes para LT, EP y la V.R BCR. ....	125
5.9.5	Interacciones dobles para los factores EP y LT y la VR “BCR”. .....	127

5.10	Análisis de Varianza para los “Costos de Stroke de Producción”(PCR) .....	128
5.10.1	Supuestos del modelo. ....	128
5.10.2	Supuesto de independencia para PCR. ....	129
5.10.3	Resultados del análisis de varianza de la VR, PCR.....	130
5.10.4	Análisis de medias para EP, y (LT) y la V.R PCR. ....	130
5.10.5	Interacciones dobles para EP, LT y la V.R , PCR. ....	132
5.11	Análisis de Varianza para los “Costos de Setup” (SCR).....	133
5.11.1	Supuestos del modelo. ....	133
5.11.2	Resultados del análisis de varianza para la V.R “Costos de Setup” .....	135
5.11.3	Análisis de medias para EP, (LT y la variable de respuesta SCR.....	135
5.11.4	Interacciones dobles para EP, LT y la V.R “Costos de Setup” (SCR).....	137
5.12	Análisis de varianza para la “Complejidad del Sistema”(HSR).....	139
5.12.1	Supuestos del modelo. ....	139
5.12.2	Supuesto de independencia.....	140
5.12.3	Análisis de varianza de la variable de respuesta “Complejidad del Sistema”. 140	
5.12.4	Análisis de medias para EP, LT y VR HSR.....	141
5.12.5	Interacciones dobles para los factores EP y LT y la V.R (HSR). ....	143
5.13	Análisis de Varianza para el Nivel de Servicio (NSR) .....	144
5.13.1	Supuestos del modelo. ....	144
5.13.2	Supuesto de independencia(NSR) .....	145
5.13.3	Análisis de varianza de la variable de respuesta “Nivel de Servicio” (NSR). .	146
5.13.4	Análisis de medias para LT, EP, y la variable de respuesta NSR. ....	146
5.13.5	Interacciones dobles para EP y LT y la variable de respuesta NSR.....	147
5.14	Análisis de Varianza para el “Nerviosismo del Sistema”(ISR).....	149
5.14.1	Supuestos del modelo. ....	149
5.15	Análisis de Varianza de la variable “Nerviosismo” (ISR).....	151
5.15.1	Supuestos del modelo. ....	151
5.15.2	Análisis de medias para los factores LT, EP y la VR ISR. ....	153
5.15.3	Interacciones para factores EP y LT y la variable de respuesta ISR. ....	155
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	156
6.1	Conclusiones. ....	156
6.2	Recomendaciones y Posibles Investigaciones .....	162
	Referencias .....	164

## Lista de Tablas

TABLA 1 RELACIÓN ENTRE HORIZONTE Y PROCESO DE LA CS .....	42
TABLA 2 DEMANDA POR PRODUCTO Y PERIODO. ....	60
TABLA 3 PARÁMETROS PARA GENERACIÓN DE DEMANDA. ....	60
TABLA 4 COSTO DE ALMACENAMIENTO POR PRODUCTO Y PERIODO. ....	61
TABLA 5 PARÁMETROS COSTO DE ALMACENAMIENTO.....	61
TABLA 6 TIEMPO DE OPERACIÓN.....	62
TABLA 7 TIEMPO DE OPERACIÓN PARA CADA STROKE.....	62
TABLA 8 TIEMPO DE SETUP. ....	63
TABLA 9 TIEMPO DE SETUP. ....	63
TABLA 10 COSTO DE PLANIFICAR UN STROKE POR PERIODO. ....	63
TABLA 11 COSTOS DE PRODUCCIÓN. ....	64
TABLA 12 COSTO DE SETUP DE UN STROKE POR PERIODO.....	64
TABLA 13 PARÁMETROS COSTOS DE SETUP. ....	64
TABLA 14 NIVEL DEL INVENTARIO INICIAL $I_i 0$ .....	65
TABLA 15 PARÁMETROS INVENTARIO INICIAL $I_i 0$ .....	65
TABLA 16 CAPACIDAD DISPONIBLE POR RECURSO. ....	65
TABLA 17 CAPACIDAD DISPONIBLE POR RECURSO. ....	66
TABLA 18 UNIDADES DE SKUS POR EJECUCIÓN DEL STROKE. ....	66
TABLA 19 UNIDADES DE SKUS POR EJECUCIÓN DEL STROKE, EP-1.....	67
TABLA 20 UNIDADES DE SKUS QUE SE CONSUMEN POR EJECUCIÓN DEL STROKE. ....	68
TABLA 21 UNIDADES DE SKUS POR EJECUCIÓN DEL STROKE, EP -1.....	68
TABLA 22 LEAD TIME DE UN STROKE.....	69
TABLA 23 COSTOS DEL MODELO.....	82
TABLA 24 NIVEL DE CADA RECURSO. ....	83
TABLA 25 ESTRUCTURA DEL PRODUCTO Y SUS NIVELES.....	85
TABLA 26 LEAD TIME Y SUS NIVELES.....	86
TABLA 27 HETEROGENEIDAD DE LA DEMANDA.....	93
TABLA 28 COEFICIENTE DE VARIACIÓN Y SUS NIVELES.....	94
TABLA 29 RESUMEN DE LOS FACTORES.....	94
TABLA 30 TABLA PARA CÁLCULO DE LA COMPLEJIDAD.....	103
TABLA 31 TABLA PARA ARREGLO EXPERIMENTAL.....	105
TABLA 32 FACTORES, NIVELES Y CÓDIGOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	107
TABLA 33 VARIABLES DE RESPUESTA.....	108
TABLA 34 SIGNIFICANCIA Y NORMALIDAD PARA LT .....	111

TABLA 35 RESUMEN ESTADÍSTICO PARA RESIDUOS .....	150
TABLA 36 DATOS ATÍPICOS PARA ISR.....	151

## Lista de Figuras

FIGURA 1. PROCESO DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN. ....	44
FIGURA 2. PROCESO DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN CON HORIZONTE RODANTE. .	45
FIGURA 3. PROCESO DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN. ....	50
FIGURA 4. ESTRUCTURAS DE PRODUCTOS PURAS. ....	54
FIGURA 5. ESTRUCTURAS BÁSICAS DE PRODUCTOS. ....	56
FIGURA 6. PARÁMETROS Y FACTORES DE LA SIMULACIÓN. ....	59
FIGURA 7. STROKE Y SKUS PARA LA ESTRUCTURA-1. ....	66
FIGURA 8. PLANIFICACIÓN DE LA SIMULACIÓN. ....	70
FIGURA 9. ESTRUCTURA TIPO- 1, CON DIEZ PRODUCTOS. ....	71
FIGURA 10. ESTRUCTURA TIPO- 2, CON DIEZ PRODUCTOS. ....	72
FIGURA 11. ESTRUCTURA TIPO- 3, CON DIEZ PRODUCTOS. ....	73
FIGURA 12. ESTRUCTURA TIPO- 3, CON DIEZ PRODUCTOS. ....	73
FIGURA 13. ESTRUCTURA TIPO- 3, CON DIEZ PRODUCTOS. ....	73
FIGURA 14. ESTRUCTURA TIPO- 3, CON DIEZ PRODUCTOS. ....	74
FIGURA 15. ESTRUCTURA TIPO- 4, CON DIEZ PRODUCTOS. ....	74
FIGURA 16. ESTRUCTURA TIPO- 5, CON DIEZ PRODUCTOS. ....	74
FIGURA 17. MODELO EN HORIZONTE RODANTE, BASADO EN EL MODELO GMOP. ....	79
FIGURA 18. FACTORES DE ENTRADA Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN. ....	81
FIGURA 19. GENERACIÓN DE ESCENARIOS ....	83
FIGURA 20. ASPECTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN. ....	84
FIGURA 21. LA CADENA DE SUMINISTRO Y EL LEAD TIME. ....	86
FIGURA 22. ESTRUCTURA DE PRODUCTO TRADICIONAL SIN COMUNALIDAD. ....	88
FIGURA 23. ESTRUCTURA DE PRODUCTO TRADICIONAL CON COMUNALIDAD. ....	88
FIGURA 24. ESTRUCTURA TIPO- 1, CON DIEZ PRODUCTOS Y COMUNALIDAD. ....	89
FIGURA 25. ESTRUCTURA TIPO- 2, CON DIEZ PRODUCTOS Y COMUNALIDAD. ....	90
FIGURA 26. ESTRUCTURA TIPO- 3, CON DIEZ PRODUCTOS Y COMUNALIDAD. ....	91
FIGURA 27. ESTRUCTURA TIPO- 4, CON DIEZ PRODUCTOS Y COMUNALIDAD. ....	92
FIGURA 28. ESTRUCTURA TIPO- 4, CON DIEZ PRODUCTOS Y COMUNALIDAD. ....	93
FIGURA 29. ESTRUCTURA TIPO- 1, 2, 3, 4, 5, CON CENTRO DE TRABAJO Y RECURSOS. ....	102
FIGURA 30. FACTORES Y RESULTADOS ESPERADOS PARA EL DISEÑO EXPERIMENTAL. ....	104
FIGURA 31. GRAFICA NORMALIDAD PARA RESIDUOS TCR. ....	112
FIGURA 32. GRAFICA PREDICHOS VS RESIDUOS PARA VARIANZA CONSTANTE. ....	113
FIGURA 33. GRAFICA DE INDEPENDENCIA PARA RESIDUOS TCR. ....	114
FIGURA 34. GRAFICA DE MEDIAS PARA LOS FACTORES LT Y EP Y VARIABLE TCR. ....	115
FIGURA 35. INTERACCIONES PARA EL FACTOR EP, LT Y LA VR, TCR. ....	116

FIGURA 36. INTERACCIONES PARA EL FACTOR LT Y CM PARA LA VR, TCR.....	117
FIGURA 37. GRAFICA DE NORMALIDAD PARA RESIDUOS HCR .....	118
FIGURA 38. PREDICHOS CONTRA RESIDUOS PARA EL FACTOR, COSTO DE INVENTARIO. ...	118
FIGURA 39. ORDEN DE LOS DATOS CONTRA RESIDUOS PARA HCR. ....	119
FIGURA 40. GRAFICA DE MEDIAS PARA EL FACTOR EP, LT Y LA VR, HCR.....	120
FIGURA 41. INTERACCIÓN DOBLE PARA EL FACTOR LT Y EP Y LA VR, HCR.....	122
FIGURA 42. INTERACCIÓN DOBLE PARA EL FACTOR LT Y EP Y LA VR, CM.....	123
FIGURA 43. GRAFICA DE NORMALIDAD PARA RESIDUOS BCR.....	124
FIGURA 44. PREDICHOS CONTRA RESIDUOS PARA EL FACTOR, COSTO DE FALTANTES .....	124
FIGURA 45. ORDEN DE LOS DATOS CONTRA RESIDUOS PARA EL FACTOR, BCR.....	125
FIGURA 46. GRAFICA DE MEDIAS PARA EL FACTOR EP-LT Y VR, BCR. ....	126
FIGURA 47. INTERACCIÓN DOBLE PARA EL FACTOR LT, EP Y LA VR, BCR. ....	127
FIGURA 48. INTERACCIÓN DOBLE PARA EL FACTOR LT , CM Y LA VR, BCR. ....	128
FIGURA 49. GRAFICA DE NORMALIDAD PARA RESIDUOS PCR.....	129
FIGURA 50. PREDICHOS CONTRA RESIDUOS PARA LA VARIABLE, PCR. ....	129
FIGURA 51. ORDEN DE LOS DATOS CONTRA RESIDUOS PARA EL FACTOR, PCR .....	130
FIGURA 52. GRAFICA DE MEDIAS PARA EL FACTOR LT Y EP Y LA VR, PCR.....	131
FIGURA 53. INTERACCIÓN PARA EL FACTOR LT , EP Y LA VR, PCR.....	132
FIGURA 54. GRAFICA DE NORMALIDAD PARA RESIDUOS SCR. ....	134
FIGURA 55. PREDICHOS CONTRA RESIDUOS PARA EL FACTOR, COSTO DE SETUP.....	134
FIGURA 56. ORDEN DE LOS DATOS CONTRA RESIDUOS PARA EL FACTOR, SCR. ....	135
FIGURA 57. GRAFICA DE MEDIAS PARA EL FACTOR LT Y EP Y LA VR, SCR.....	136
FIGURA 58. INTERACCIÓN PARA EL FACTOR LT Y EP Y LA VR, SCR.....	137
FIGURA 59. INTERACCIÓN PARA EL FACTOR LT Y CM Y LA VR, BCR.....	139
FIGURA 60. GRAFICA DE NORMALIDAD PARA RESIDUOS HSR.....	139
FIGURA 61. PREDICHOS CONTRA RESIDUOS PARA EL FACTOR, HSR.....	140
FIGURA 62. ORDEN DE LOS DATOS CONTRA RESIDUOS PARA EL FACTOR, HSR.....	141
FIGURA 63. GRAFICA DE MEDIAS PARA EL FACTOR LT Y EP Y LA VR, HSR. ....	142
FIGURA 64. INTERACCIÓN PARA EL FACTOR LT Y EP Y LA VR, HSR. ....	143
FIGURA 65. GRAFICA DE NORMALIDAD PARA RESIDUOS NSR.....	144
FIGURA 66. PREDICHOS CONTRA RESIDUOS PARA, NSR. ....	145
FIGURA 67. ORDEN DE LOS DATOS CONTRA RESIDUOS PARA, NSR. ....	145
FIGURA 68. GRAFICA DE MEDIAS PARA EL FACTOR LT Y EP Y LA VR, NSR. ....	146
FIGURA 69. INTERACCIÓN PARA EL FACTOR LT Y EP Y LA VR, NSR. ....	148
FIGURA 70. INTERACCIÓN PARA EL FACTOR LT , CM Y LA VR, NSR.....	149
FIGURA 71. PRUEBA DE NORMALIDAD PARA RESIDUOS ISR.....	149
FIGURA 72. CAJA Y BIGOTE PARA RESIDUOS DE LA VARIABLE ISR.....	150
FIGURA 73. GRAFICA DE MEDIAS PARA EL FACTOR LT Y EP Y LA VR, ISR.....	154

FIGURA 74. INTERACCIONES PARA EL FACTOR LT Y EP Y LA VR, ISR. ....	155
FIGURA 75. INTERACCIONES PARA EL FACTOR LT, CM Y LA VR, ISR.....	156

## **Anexos**

Anexo 1 Arreglo o diseño factorial para 120 tratamientos por replica .....	173
Anexo 2 Resultados experimentales .....	173
Anexo 3 Graficos de residuos para TCR (LT y EP) dispersión por factor .....	187
Anexo 4 Analisis de varianza para TCR-sum de cuadrados tipo -iii. ....	187
Anexo 5 Prueba de rangos múltiples y contrastes para TCR y los factores LT y EP. ....	187
Anexo 6 Grafica de Caja y bigotes para residuos de HCR. ....	188
Anexo 7 Graficos de residuos para HCR (LT y EP) dispersión por factor.....	188
Anexo 8 Analisis de varianza para HCR .....	189
Anexo 9 Prueba de normalidad -shapiro wilk para HCR .....	189
Anexo 10 Prueba de rangos múltiples y contrastes para HCR y los factores LT y EP.....	189
Anexo 11 Resumen de los costos para los factores LT y EP.....	190
Anexo 12 Resumen de costos en porcentajes por estructura y variable. ....	191
Anexo 13 Variabilidad de los costos de inventario (HCR).....	191
Anexo 14 Caja y bigote para faltantes (BCR) .....	191
Anexo 15 Graficos de residuos para BCR (LT y EP) dispersión por factor .....	192
Anexo 16 Analisis de varianza para BCR .....	192
Anexo 17 Prueba de rangos múltiples y contrastes para BCR y los factores LT y EP.....	192
Anexo 18 Variabilidad de los costos de faltantes (BCR). ....	193
Anexo 19 Caja y bigote, datos atípicos para (PCR). ....	193
Anexo 20 Graficos de residuos para PCR (LT y EP) dispersión por factor. ....	194
Anexo 21 Anova para los efectos principales e interacciones no activas, para la variable de respuesta PCR. ....	194
Anexo 22 Grafica de interacciones no significativa factores LT y EP para PCR.....	194
Anexo 23 Tabla Anova para los efectos principales y la variable de respuesta PCR. ....	195
Anexo 24 Prueba de rangos múltiples y contrastes para PCR y los factores LT y EP. ....	195
Anexo 25 Variabilidad de los costos de producción (PCR). ....	196
Anexo 26 Caja y bigote datos atípicos para los costos de setup (SCR).....	196
Anexo 27 Variabilidad de los costos de setup (SCR).....	196
Anexo 28 Tabla Anova modificada para los efectos principales y la variable de respuesta SCR. ....	196
Anexo 29 Prueba de rangos múltiples y contrastes para SCR y los factores LT y EP. ....	197
Anexo 30 Variabilidad de los costos de setup (SCR).....	198
Anexo 31 Variabilidad de la complejidad (HSR).....	198
Anexo 32 Valores transformados para la variable ISR.....	198
Anexo 33 Variabilidad de la complejidad (HSR).....	199
Anexo 34 Tabla Anova para la variable de respuesta HSR. ....	199
Anexo 35 Tabla Anova modificada para la variable de respuesta HSR. ....	199
Anexo 36 Prueba de rangos múltiples y contrastes para HSR y los factores LT y EP. ....	199

Anexo 37 Prueba normalidad de rangos múltiples y contrastes para HSR y los factores LT y EP.....	200
Anexo 38 Caja y bigote, datos atípicos para NSR y los factores LT y EP.....	200
Anexo 39 Variabilidad del nivel de servicio (NSR).....	201
Anexo 40 Tabla Anova para la variable de respuesta NSR.....	201
Anexo 41 Prueba de rangos múltiples y contrastes para NSR y los factores LT y EP.....	201
Anexo 42 porcentaje de participación de cada estructura por tipo de costo.....	202
Anexo 43 Variabilidad de los costos de inventario.....	202
Anexo 44 Porcentaje de participación por estructura.....	202
Anexo 45 Prueba shapiro wilk ISR.....	203
Anexo 46 Grafica de caja y bigote para ISR.....	203
Anexo 47 Grafica residuos para ISR, factor LT y EP.....	203
Anexo 48 Anova para nerviosismo del sistema.....	203
Anexo 49 Pruebas de múltiple rangos para nerviosismo y LT.....	204
Anexo 50 Pruebas de múltiple rangos para nerviosismo por EP.....	204
Anexo 51 Analisis de varianza para costo total (TCR).....	205
Anexo 52 Grafica de medias costo total (TCR).....	205
Anexo 53 Graficos de medias y normalidad (sw), para el factor LT y EP y la vr costo de inventario.....	205
Anexo 54 Analisis de varianza para BCR, SCR, HSR y NSR.....	206
Anexo 55 Datos y Matrices para el problema-1.....	206

## INTRODUCCIÓN

Son varios los aspectos y factores que inciden en el desempeño y gestión de la cadena de suministro, esto ha motivado a los investigadores en la búsqueda y solución de problemas de diversa índole, realizando aportes en la formulación y solución con modelos y herramientas algorítmicas muy variadas, y aportes significativos que han contribuido al mejoramiento, u optimización, de una parte o de la totalidad de los problema que afectan el desempeño o eficiencia de un sistema de abastecimiento.

Un primer aspecto está relacionado con la dinámica misma e incertidumbre de los mercados, un segundo aspecto tiene que ver con la complejidad para articular todos y cada uno de los eslabones o procesos que conforman toda la red de abastecimiento –producción y distribución, de bienes o productos terminados, y un tercer aspecto, hace referencia con la globalización de la economía.

Por otro lado, esta globalización ha provocado la disminución de barreras y en muchos casos la pérdida de fronteras comerciales, obligando a las organizaciones a aunar esfuerzos y a repensar lo negocios de forma colaborativa, ya sea para mantener los mercados que se han ganado y enfrentar la competencia, o también con el fin de ganar otros espacios, y aumentar su participación comercial. En cualquiera de las situaciones, esto ha inquietado a investigadores y organizaciones para buscar y desarrollar de forma integrada, estrategias, métodos, filosofías y modelos que mejoren sus ventajas competitivas y les permita dar respuesta a muchos problemas que resultan complejos y que indudablemente limitan y dificultan la toma de decisiones y la gestión misma de todo un sistema o de una cadena de suministro.

Estas investigaciones abarcan toda una gama de situaciones, desde modelos determinísticos simples, con pocos actores o niveles en la cadena de abastecimiento (pocos distribuidores, productos y redes de suministro), hasta modelos matemáticos más complejos, que involucran otros factores, como la incertidumbre y el modelamiento estocástico de la demanda, los costos, la comunicación, y los inventarios. Otros modelos se

enfocan en los tiempos de entrega, más específicamente para el área de aprovisionamiento y servicios. En fin pueden concebirse diferentes tipos de modelos; matemáticos, no matemáticos, estocásticos y de simulación, que abarcan uno o varios factores relevantes de estudio en sus diseños, y de los cuales algunos explican el comportamiento parcial de una cadena de suministro, con muy pocas excepciones el comportamiento ampliado o general de todo el sistema.

Por otro lado, los altos niveles de competitividad a la que están sometidas hoy en día las organizaciones, exige el uso de estrategias y de factores diferenciadores para la sostenibilidad y éxitos de los negocios. No es suficiente para las empresas la integración de los procesos internos, se hace necesario que el concepto de integración pase las fronteras empresariales, con el propósito de fortalecer las relaciones con proveedores y clientes, y de esta forma aumentar la ventaja competitiva a todos los eslabones que conforman esa cadena de suministro.

Sin embargo, esta integración esta mediada por factores y variables que inciden en la eficiencia y desempeño de todo el sistema. Entre los más relevantes se encuentran, la gestión y mantenimiento de los niveles de inventario, las cantidades óptimas de pedido de materiales, las relaciones de colaboración y cooperación entre los agentes que conforman la cadena de abastecimiento, así mismo los sistemas de información y comunicación, y la incertidumbre de la demanda. Y un último factor que por su importancia ha sido objeto de estudio en los últimos años, está relacionado con los tiempos de entrega o LEAD TIME a nivel de proveedores y nivel operativo. Pero este factor, que se encuentra presente en la cadena de suministro aguas arriba (suministro producción) o aguas abajo (clientes), puede tener un impacto positivo o negativo por su inestabilidad o variabilidad, y aumenta su complejidad cuando interactúa y está afectada por otras variables o factores que hacen parte del sistema.

En el presente estudio, se hace énfasis principalmente en analizar y estudiar el impacto y desempeño de los Tiempos de Entrega (Lead Time) aguas arriba de la cadena de suministro, cuando este factor, por su naturaleza puede presentar variabilidad y está

sometido a cambios o fluctuaciones, que son características o condiciones mismas del sistema. Además de la variabilidad inherente aguas arriba, el desempeño del sistema está condicionado también por los aspectos relacionados con las etapas de operaciones o de producción, para este caso por la estructura del producto y la lista de materiales. Considerando que la cadena de suministro es de tipo multinivel, la demanda del mercado por su variabilidad, se presenta como otro factor igualmente importante que incide directamente en el desempeño y eficiencia del sistema, además de afectar y guardar una estrecha interacción con el proceso de suministro y los tiempos de entrega por parte de proveedores, razón fundamental para considerarlo en la presente investigación.

De acuerdo a esa inestabilidad en el mercado y a la estructura del producto, con su respectiva lista de materiales, es importante preguntarnos por el efecto y los resultados que se esperan en las variables de costos, niveles de servicio, y las repercusiones que esto representa en la complejidad del sistema, o cuando la variable tiempos de entrega, presenta incertidumbre o se trabaja con tiempos amplios o reducidos. Es importante resaltar que se requieren más estudios e investigaciones donde se analice y se muestren resultados sobre el impacto en estas variables, se refleje la magnitud del impacto y orienten la decisión para trabajar con tiempos de entrega cortos. O las implicaciones que se tiene en el sistema, en los costos y en los niveles de servicio cuando se trabajan con tiempos de entrega muy largos.

De cualquier forma, el impacto del lead time puede tener impactos positivos o negativos en el desempeño del sistema, además de la relación con otros factores que interactúan y que forman parte de la cadena de suministro, entre ellos; los costos, la planificación de la producción, los niveles de inventarios, la rotación de inventarios, los tamaños de lote, los tiempos de entrega a distribuidores, y tiempos de entrega por suministro. Por esta razón es preciso ahondar en estudios o simulaciones e investigaciones en esta área, con el fin de plantear estrategias, o modelos que orienten la toma de decisiones y la gestión en una cadena de suministro, cuando se trabaja bajo incertidumbre en la demanda y se interactúa con el factor tiempos de entrega.

En resumen es importante determinar el impacto y la forma como se afectan otros factores y parámetros de una cadena de suministro, cuando se presentan variaciones en los tiempos de entrega, más aun, a qué medida deben operar los Lead Time cuando se desea un nivel de servicio especificado y competitivo, y además se requieran minimizar los costos y optar por un desempeño eficiente en el sistema.

## **1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

La logística tradicional se relaciona solamente con el movimiento físico de materiales y con las áreas anexas como Compras o Producción, Comercial o Ventas, quienes definen su ámbito de actuación<sup>1</sup>. Además la función logística se centra en aspectos relacionados con las compras o la producción, las cuales se traducen en superficies para almacenar (“guardar”) los materiales. Para las áreas comerciales o de ventas, la misión de la logística tradicional es mover los productos, dentro de los marcos establecidos, hacia los clientes.

El entorno actual de la cadena de suministro, está enfocado a priorizar en cuatro aspectos básicos<sup>2</sup>; la globalización de los mercados; Cambios en las necesidades de los consumidores; concentración; y los nuevos bloques económicos. Ahora bien, las tendencias han marcado un hito en cuanto a la transformación de la logística empresarial al concepto de la cadena de suministro con el fin de mejorar muchos aspectos o factores que tienen influencia en su desempeño y eficiencia.

Uno de estos factores, está relacionado con la rapidez en los tiempos de entrega (Lead Time), mejoras en el servicio al cliente y los costos ocasionados por la gestión corriente y arriba y corriente abajo, pasando por el flujo de materiales hasta llegar al cliente final. Estas fluctuaciones estadísticas que se presentan en los tiempos de entrega, e inherentes a; los procesos de abastecimiento, programas de producción, planes de pedido y entrega, los cuales aunados a las incertidumbres del mercado, aumentan considerablemente la complejidad en el sistema.

---

<sup>1</sup> Michael Nickl, Director Gerente Miebach Logística Ltda., Revista Virtual Pro, Edición 43, 2008

<sup>2</sup> Centro Español de Logística

Esta complejidad se ve reflejada en la inestabilidad del sistema y replanificación de actividades, producto de las condiciones y variabilidad de los elementos que caracterizan al eslabón primario. Se requiere de la identificación de un modelo que resuelva el problema de la planificación del programa de producción, en definir niveles óptimos de inventario, en el cumplimiento de los programas de pedido, en la planificación del programa de despacho y entrega y en las cantidades optimas a fabricar, en fin en todos aquellos aspectos en el cual está implícito el factor de tiempos de entrega, y que de una u otra forma influyen notoriamente en el desempeño y gestión de la cadena de suministro.

Por esta razón, en esta revisión de artículos, se hace énfasis en el factor tiempos de entrega (Lead Time), se resalta además la relevancia y la interacción con otros factores y variables que hacen parte de la cadena, también igual de importantes, la planificación, la gestión y optimización de los procesos.

En el presente estudio, nos enfocaremos principalmente en describir el impacto de la complejidad de los Lead Time (LT) en una cadena de suministro, y evaluación de los desempeños en términos de costos, nivel de servicio, y la misma complejidad de todo el sistema.

De acuerdo con este criterio, se establecen algunas consideraciones y se identifican varios factores de entrada, que se someten a un proceso de simulación con varios niveles de operación, con el propósito de estudiar y evaluar el comportamiento de varias variables de salida. Estas variables de salida que serán objeto de estudio nos aportaran los elementos necesarios para efectuar un análisis detallado del impacto de los LT, objeto principal de esta investigación.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

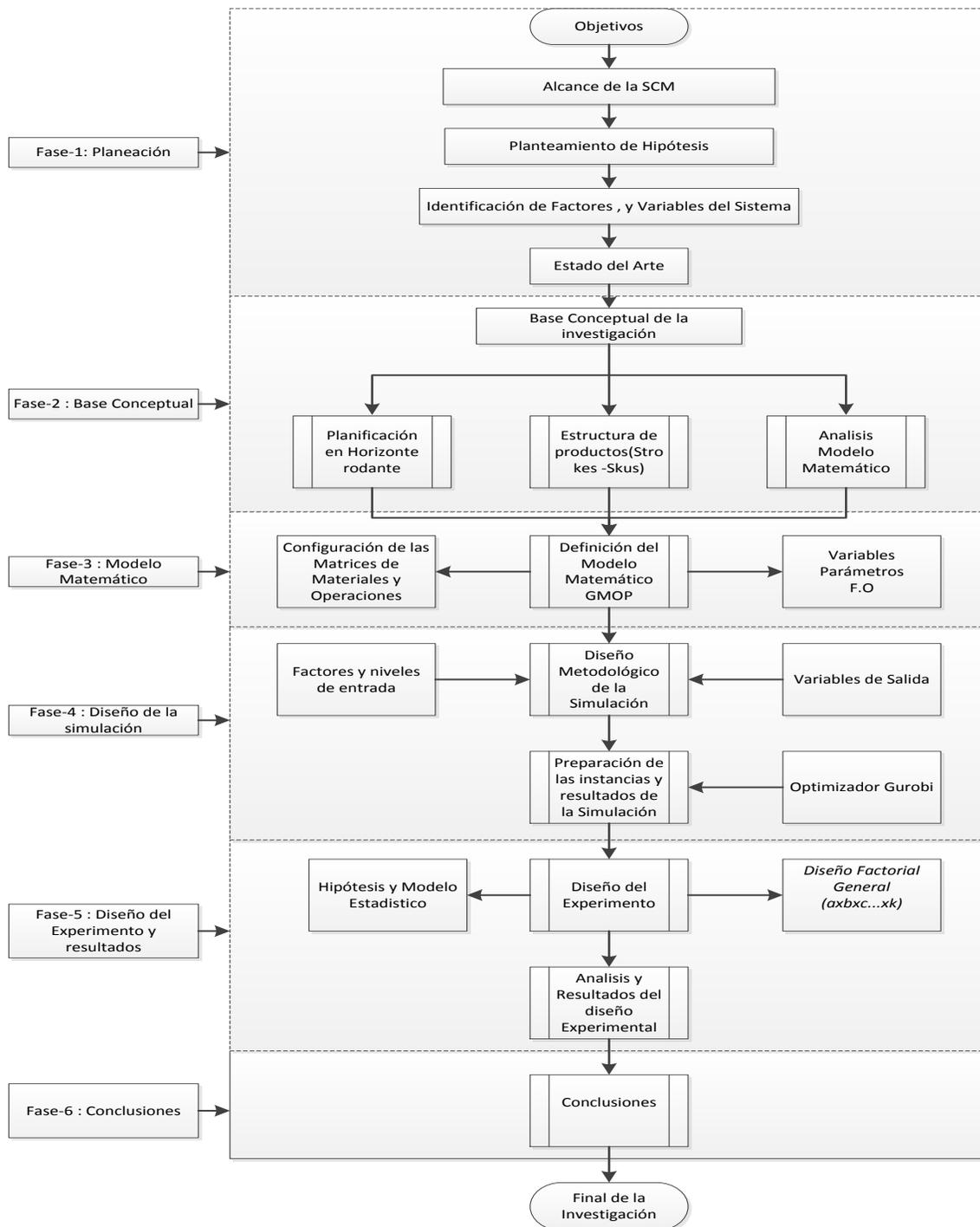
Analizar el impacto del lead time en una cadena de suministro con diferentes estructuras de productos e incertidumbre en la demanda por medio de la simulación en un horizonte rodante de planificación.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Efectuar una revisión bibliográfica con el fin de conocer el estado actual y las tendencias en el estudio e impacto de los tiempos de entrega en un sistema multinivel.
- ✓ Plantear una metodología para planificar el proceso de producción en un horizonte rodante, y su resultado sea el insumo para la aplicación del Modelo de Optimización GMOP, con el fin de indagar el impacto del Lead Time, el desempeño en términos de costos y la eficiencia en una cadena de suministro.
- ✓ Aplicar el modelo matemático GMOP integrado de una cadena de suministro, con el fin de medir el desempeño del sistema, debido al impacto que ocasiona la variabilidad en los tiempos de entrega, a la forma y estructura del producto y la incertidumbre en la demanda, para la gestión y la toma de decisiones en una cadena de suministro estable.
- ✓ Realizar pruebas experimentales, con el propósito de conocer los efectos e interacciones entre el factor tiempos de entrega, y otros factores relevantes de la cadena de suministro que impactan el sistema.

## 1.4 METODOLOGÍA

Se propone una metodología de tipo exploratoria y descriptiva.



# CAPÍTULO 2

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Impacto Del Lead Time En La Cadena De Suministro

La cadena de suministro se compone de todas las etapas en el cumplimiento de una solicitud del cliente (Chopra y Meindl, 2006). Estas etapas son el suministro, fabricación y venta al por menor, así como al transporte, y distribución de los productos.

Cada producto debe pasar a través de todas estas etapas con el fin de estar disponible para el consumidor final. Uno de los intereses de los directivos, es la eliminación de los residuos en toda la cadena de abastecimiento, lo que resulta en el desarrollo de múltiples estrategias para mejorar el desempeño, disminuir costos y aumentar eficiencias. Sin embargo, debido a la complejidad del medio ambiente, la consecución de dicha eliminación se vuelve más difícil. (Kamal & Hafar, 2010). Sin embargo otras tendencias de las Cadenas Suministro, han evolucionado para que estas cadenas de abastecimiento sean más ágiles flexibles y sensibles. (Dmitry , Boris , & Joachim , 2009). A través de un nuevo marco conceptual, plantea un modelo de gestión, mediante la planificación de cadenas de suministro con estructuras múltiples y operaciones con consideraciones de estructuras dinámicas.

Bajo este enfoque las cadenas de suministro se pueden componer de estructuras múltiples, las cuales pueden operar mediante las herramientas a fin a cada tipo de estructura, destacándose los procesos de negocios, procesos tecnológicos, procesos técnicos, topológicos, procesos de información y financieros. De tal forma que los cambios o adaptaciones que se aprecian en una estructura, terminan influyendo e interactuando con la demás estructuras. (Dmitry & Joachim , 2009)

Por otro lado, sostiene (Kamal & Hafar, 2010) que dentro de esa complejidad inherente en las cadenas de suministro (Supply Chain), el parámetro tiempos de entrega (LEAD TIME) o el plazo para los tiempos de entrega se convierte en uno de los factores

principales que afectan el desempeño y la competitividad de la cadena, y hace que el proceso de gestión y coordinación de la Supply Chain (SC), sea más complejo. Analizando el flujo de los materiales dentro de una cadena de suministro corriente arriba y de acuerdo a la teoría de inventario, el tiempo de entrega afecta a este parámetro y por consiguiente los costos por el mantenimiento de ese inventario. De la corriente abajo, y de acuerdo a la teoría de inventario se conoce también que el tiempo de entrega (LT) afecta otros parámetros, como la posesión y tamaño del inventario, el nivel de disponibilidad de los productos y las decisiones de compra. Por lo tanto, se puede concluir que el LT afecta el rendimiento general de la SC a través del inventario y de los sistemas de pedidos. (Kamal & Hafar, 2010).

De acuerdo a la investigación desarrollada por (Kamal & Hafar, 2010), establece que el Tiempo de entrega (LT) se convierte en un factor que no se puede separar al momento de gestionar la cadena de suministro. Y como factor inseparable, también presenta un grado de incertidumbre. Esta incertidumbre se asocia principalmente a las políticas de suministro de pedidos, a los niveles de inventario y el nivel de disponibilidad del producto.

Estudios realizados por (Hua, Wang, & Cheng, 2010), destacan la importancia de la toma de decisiones en cuanto al precio de los productos y el LT en las cadenas de abastecimiento con doble canal de venta, es decir, utilizando el tradicional canal minorista y un canal directo online.

El objetivo de la investigación consiste en presentar un marco analítico para la toma de decisiones en forma óptima del fabricante y el minorista. Con base en el tiempo de entrega y los precios, la técnica de optimización de dos etapas y un modelo de juegos Stackelberg, se examinan los impactos de los plazos de entrega y la aceptación del cliente de un canal directo. (Hua, G., et al., 2009).

El trabajo desarrollado por (Li, Xu, & Ye, 2011), propone dos modelos; un modelo descentralizado basado en el modelo de Stackelberg, y el otro modelo centralizado de la

cadena de suministro, con resultados positivos en los costos del inventario debido a la reducción de los tiempos de entrega.

La investigación de Li, C. y Liu, S. (2012) para mejorar la gestión de la cadena de suministro, propone un modelo de optimización robusta para reducir el “efecto látigo”, dentro de un entorno con incertidumbre, y teniendo en cuenta factores tales como la demanda, procesos de producción, estructura de la cadena de abastecimiento, políticas de inventario y en especial los retrasos de los proveedores en el tiempo de entrega de las órdenes de pedido. El estudio de Li et al (2012), busca entre otros minimizar el efecto negativo de las incertidumbres descritas (fluctuaciones o interferencias externas) para evitar la aparición del “efecto bullwhip”.

La eficacia y la flexibilidad del método fueron verificadas a través de un estudio de simulación. Los resultados arrojan que los retrasos en los plazos de entrega para la colocación de pedidos de los proveedores, desempeñan un papel importante en la dinámica de la cadena de suministro y contribuyen a la turbulencia y la volatilidad, en otras palabras, inducen el “efecto bullwhip” (Li, C. y Liu, S., 2012).

Otras investigaciones refuerzan la afirmación, de que el tiempo de entrega ya sea determinista o estocástico, es uno de los factores que exacerban el efecto bullwhip inflando la varianza de la demanda en los niveles aguas arriba de la cadena de suministro ( Kim , Chatfield , Harrison, & Hayya, 2006). Se utilizaron técnicas de control de ingeniería (funciones de transferencia, respuesta de frecuencia, el análisis espectral) y métodos estadísticos con el objetivo de cuantificar el “efecto látigo” (bullwhip), teniendo en cuenta lead time (LT) estocásticos y en otros casos considerando el intercambio de información, y sin posibilidad al intercambio de la información. Los resultados arrojaron que la variabilidad del Lead Time es la que más contribuye a la aparición del efecto látigo. Kim , et al (2006). Sin embargo ( Lee, Klassen, Furlan, & Vinelli, 2014), sostienen que el efecto látigo durante mucho tiempo ha sido reconocido como uno de los factores críticos que afecta la SC, más específicamente amplificando la variabilidad de la demanda a través de los diferentes eslabones de la cadena aguas arriba.

Otros Investigadores en el área de la cadena de suministro como, (De Treville, Shapiro & Hameri, 2002) establecen que “Para mejorar el rendimiento de la demanda de la cadena de suministro, es mejor para las partes, concentrarse primero en la reducción del tiempo de espera, en lugar de concentrarse en mejorar la transferencia de información de la demanda aguas arriba en la cadena.” (De Treville et al, 2002). En esta investigación realizada por (De Treville et al, 2002), ahonda y reconoce la importancia de los tiempos de entrega o los Lead Time, ya sea en el flujo de los materiales (corriente abajo) o los tiempos de entrega en relación a la demanda, son uno de los factores claves para establecer la ventaja competitiva y mejorar el rendimiento de los procesos. De Treville (2002), proponen un modelo de investigación empírica. Y en sus resultados expresa, que la experiencia y lo que se conoce por parte de los gerentes en muchas empresas es que la reducción de los Tiempos de Entrega es difícil y además costosa para su implementación. De tal manera que las decisiones se apoyan más en los sistemas de información, actuando como un mecanismo para provocar que la reducción de los tiempos de entrega sea más fácil. Sin embargo esta decisión que no está fundamentada totalmente, terminaba fracasando (De Treville et al, 2002).

A pesar de que la teoría de la oferta y gestión de la demanda en la cadena de suministro, indica que la reducción del tiempo de entrega es un antecedente para el uso de la mediación en el mercado (es decir, ajustar la producción para satisfacer la demanda del cliente actual), y también para reducir la incertidumbre de transacción de la cadena. Por lo tanto el tiempo de espera puede ser considerado el objetivo principal para una correcta gestión de la SC.

En los estudios realizados por Bozarth, C, (2009), en la cadena de suministro para los procesos de fabricación, resalta la importancia del factor “Tiempos de entrega” (LEAD TIME), y la forma como este incide en el rendimiento de los procesos, o de los sistemas de producción.

Además de definir la complejidad de la cadena, Bozarth, (2009), aclara que, “también es importante explorar el impacto de las diferentes fuentes de complejidad

ascendente en la cadena de suministro, interna en la planta de fabricación, y aguas abajo de la planta de fabricación.”

## 2.2 Impacto del Lead Time en el Sistema de Inventario y Punto de Pedido

Se ha observado que las condiciones de competencia han obligado a los productores a buscar nuevas formas de reducir su inventario, como se observa en el trabajo Bjork & Carlsson, 2007, que estudia el impacto del Lead Time sobre los sistemas de inventario, los niveles de stock, y los puntos de pedidos.

Según Bjork ( 2007 ) la flexibilidad es de gran importancia en una red de producción-distribución. Y la falta de claridad acerca de quién debe proporcionar la flexibilidad ( Bjork & Carlsson, 2007 ) proponen que esta flexibilidad debe ser en forma de tiempos de entrega flexibles *hacia el productor* y no entre los distribuidores, como la tradición lo establece.

A partir de esta reflexión, Bjork ( 2007) propone dos conjuntos de modelos mixtos de programación lineal entera con un horizonte de tiempo fijo: una producción combinada y el modelo de inventario (para el productor) con plazos de entrega fijos y uno con los plazos de entrega flexibles. Igualmente (Glock, 2012), propone métodos alternativos para reducir el tiempo de entrega y su impacto sobre el stock de seguridad, y un sistema continuo para control de los inventarios.

Otro trabajo relacionado con el impacto del Lead Time en los inventarios es desarrollado por Taleizadeh, Akhavan, & Makui, (2011), los cuales plantean en su investigación un entorno multi-producto, con varias restricciones, un único proveedor y múltiple compradores, donde el problema del inventario está determinado por una demanda que sigue una distribución uniforme y el tiempo de entrega o LEAD TIME, se supone que varía linealmente con respecto al tamaño del lote y además la pérdida de venta, debido a la combinación entre escasez del inventario y los pedidos de los clientes.

El objetivo consiste en determinar el punto de re-orden y la cantidad de pedido de cada producto para cada comprador, de tal manera que el resultado esperado sea minimizar

los costos totales de la cadena. El modelo de este problema es una mezcla de tipo entero de programación no lineal. Dada su complejidad en la solución, y con el fin de resolverlo, se utiliza el método heurístico de optimización Particle Swarm Optimización (PSO). Además para validar los resultados de la heurística “Optimización de Enjambres de Partículas”, se aplicó un Algoritmo Genético para resolver el problema. Los resultados obtenidos con los dos algoritmos y comparándolos con tres ejemplos numéricos para problemas de inventario, muestran que el enfoque PSO, presenta mejores resultados y tiene un mejor rendimiento que el Algoritmo Genético (GA), en calidad de los resultados, y el tiempo de procesamiento.(Taleizadeh et al 2011).

Paralelamente en el trabajo desarrollado por Taleizadeh, et al ( 2011), y la influencia que ejerce el Lead time en la combinación entre escasez del inventario y el pedido de los clientes, (Chandraa & Grabisb, 2008) consideran otro enfoque relacionado con en el Lead Time, y establecen que una reducción en la reposición en el tiempo de entrega del inventario, permite reducir los requisitos de seguridad de stock y mejora el servicio al cliente. Sin embargo, esta alternativa puede incrementar los costos de adquisición debido a un aumento de las tarifas impuestas por los proveedores, incluso mayores costos de transporte.

(Warren Liao & Chang, 2010) Analizan el impacto de los pronósticos de la demanda, y el tiempo de entrega (Lead time - LT) en la política de inventarios de la cadena de suministro. Para evitar la pérdida de ventas y manejar una variedad de incertidumbres, el inventario es llevado habitualmente en los negocios pero con la desventaja que produce un costo de almacenamiento asociado a él.

Con la investigación, los autores proponen el uso de modelos meta-heurísticos, específicamente con optimización basada en Colonias de Hormigas (híbrido) – ACOR. Para la prueba, se consideraron 15 series de tiempo mensual y 15 trimestral tomando como base los flujos de demanda de varios artículos en la cadena de suministro. (Warren Liao & Chang, 2010).

Otros investigadores como Li, Y., Xu, X., & Ye, F. (2011), proponen un modelo para la coordinación óptima de la cadena de suministro (SC) con Lead Time (LT) controlables y restricciones en el nivel de servicio, pero enfocándose básicamente en el análisis de los modelos de inventario. El objetivo de la investigación fue analizar el modo en que el tiempo de entrega (lead time - LT) y la restricción del nivel de servicio afectan la elección del modelo de inventario en la cadena de suministro. Maheut & Garcia-Sabater, 2011 proponen un modelo matemático bajo el concepto de Stroke y Skus, con el propósito de minimizar también los inventarios y los costos por almacenamiento.

### **2.3 El Lead Time y Su Impacto en el Sistema de Costos**

Otros estudios, enfocan su atención en el impacto que tiene el Lead Time en el sistema de costos de la cadena de suministro, y el sistema de costos- inventarios. Sarker B., & Coates E. (1996), estudian el impacto del Lead Time en los costos de las instalaciones para los inventarios, o en los modelos que determinan la cantidad económica de pedidos y la cantidad de económica de fabricación (EMQ). El objetivo de la investigación se centra en dos áreas fundamentales, en primer lugar en la reducción de los costos de instalación, cuando el Lead Time se presenta en el modelo en un entorno variable. (EOQ). (Sarker & Coates, 1997). En segundo lugar, previa a la reducción de los costos de instalación, se asume que hay algún tipo de relación continua, entre el monto de la inversión y la reducción de los costes de instalación. (Sarker & Coates, 1997).

Los resultados esperados en la investigación, es desarrollar un modelo de inventario de cantidad económica de fabricación (EMQ) de rango finito, con variabilidad en los tiempos de entrega y capaces de desarrollar o establecer relaciones para el tamaño óptimo de lote, y el punto óptimo para configurar el setup o costo de instalación. (Sarker & Coates, 1997).

Sin embargo Maheut & Sabater (2010), enfocan su investigación en la flexibilidad de las operaciones y de las diferentes estructuras posibles de productos o rutas alternativas para la fabricación, dependiendo de las listas de los materiales, de los niveles del producto y de los LT con el propósito de reducir los costos en la cadena de producción. La

investigación parte con el modelo matemático Generic Materials & Operations Planning (GMOP), al cual se le introduce el parámetro tiempo de entrega(LEAD TIME), además considera las recepciones programadas, el empleo y análisis de cuatro matrices que buscan entre otros, facilitar la implementación del modelo matemático basado en el concepto de Stroke y Skus.

El modo de construcción y la interpretación de dicha estructura, basada en tres o cuatro matrices, permite la planificación de las operaciones en estricto nivel de igualdad a la de requerimientos de materiales. Maheut (2010).

Además, la investigación presenta una evolución del modelo GMOP, en el que se introducen las recepciones programadas, debidos a los Strokes, que ya se están ejecutando al principio del horizonte de planificación. Se aborda explícitamente el problema de planificación de una red de suministro multi-sitio. (Maheut et al 2010)

El resultado esperado de esta investigación es proponer el modelo matemático Generic Materials & Operations Planning (GMOP), de forma ampliada, donde se consideran los Lead Time. Para resolver el problema de planificación de las operaciones y de los materiales mediante el uso, del concepto de STROKE, se considera para ello un método y operaciones alternativas para la fabricación. (Maheut et al 2010)

El estudio del Lead Time y su impacto en la cadena de suministro, ha merecido la atención de otros investigadores, (Glock, 2012) estudia métodos alternativos o estrategias para reducir el tiempo de entrega y su impacto sobre factores como: el stock de seguridad y los costos totales esperados en el sistema, bajo el modelo de revisión continua para el inventario. En la a investigación desarrollada por (Glock, 2012) este centra su modelo en un solo vendedor , y un solo comprador, con demanda estocástica, el tamaño del lote depende del tiempo de entrega, además el tiempo de entrega se compone de el tiempo para producción y puesta en marcha, y el tiempo de transporte. Como resultado esperado y mediante el modelo matemático de revisión continua, se evalúa el impacto y la relación que tiene la reducción del tiempo de entrega, por aumento en la tasa de producción o por

disminución del tamaño de lote, adicionalmente la investigación resalta la importancia que representa para los costos totales esperados, una disminución entre el tiempo de instalación y el tiempo de producción. (Glock, 2012).

Whicker, Bernon, Templar, y Mena, (2006), sostiene la investigación que:

“En el mercado global competitivo de hoy, el costo total de abastecimiento, la fabricación y entrega de productos, es un factor importante de ventaja competitiva. Sin embargo, el verdadero costo de las operaciones en muchas organizaciones es a menudo confusa o engañosa, porque los procesos de la cadena de suministro debe trascender las fronteras funcionales de la empresa y las limitaciones asociadas con los sistemas tradicionales de costos y la presentación de informes”. (Whicker, et al., 2006).

Sostiene además Whicker (2006), que dentro de los enfoques alternativos para mejorar el desempeño de la cadena de suministro, se encuentra la reducción de los tiempos basados en los métodos. Básicamente consiste en mejorar la eficiencia, identificando y eliminando las zonas o tareas donde no hay actividad o que no añaden valor a los procesos de la cadena de suministro. Además Whicker (2006), en su investigación aclara que:

“Aunque el tiempo como una medida puede ser un método eficaz para aumentar el valor en la cadena de suministro, se conoce poco de la relación entre tiempo y costo a través de la cadena de suministro.”

El tiempo, como una medida de rendimiento de la cadena, ha sido utilizado con éxito completo para identificar las áreas que no aportan valor agregado en los procesos. El objetivo del trabajo presentado por Whicker L., (2006), es el de mostrar como el análisis de los tiempos, puede proporcionar un mecanismo para analizar los costos de la cadena de suministro. Además explora los beneficios que se obtienen al equilibrar y combinar las variables de tiempo y costo.

## **2.4 El Lead Time y Su Impacto en el Sistema de Producción**

Además del impacto del lead time en los inventario y en la medida de los costos, otros estudios demuestran que el tiempo de entrega, también impacta los sistemas de producción, y los sistemas de colas en las estaciones de trabajo. En la investigación desarrollada por (Kim & Tang, 1997) este se centra en dos medidas de rendimiento fundamentales, el tiempo de fabricación y el tiempo de respuesta. Asumiendo que el tiempo de fabricación, es la suma del tiempo de procesamiento para convertir la materia prima en productos terminados, más el tiempo de espera del producto en los buffers. El tiempo de respuesta es el tiempo que transcurre desde el momento en que el cliente hace un pedido y el cliente recibe el pedido. Kim et al ( 1997)

El objetivo de la investigación de (Kim & Tang, 1997) es desarrollar un modelo de optimización de colas para producción, con un Buffer de almacenamiento para la materia prima, un procesador que realiza las operaciones de fabricación y un buffer de salida que mantiene el inventario de productos terminados. El fin es, buscar un equilibrio entre el tiempo de fabricación y el tiempo de respuesta, mediante un sistema de control que permita examinar el impacto del tiempo de entrega en el sistema de producción. De acuerdo con el trabajo de investigación realizado por ( Lindsley & Blackburn, 1991), la mayoría de los fabricantes han cambiado sus estrategias de fabricación de costo y calidad a la velocidad en la entrega. (Kim & Tang, 1997).

Investigaciones más específicas y relacionadas con los sistemas de producción, es el trabajo realizado por ( Habchi & Labrune, 1995), quienes investigaron los efectos del tamaño de lote en el rendimiento de los sistemas Job shop, teniendo en cuenta que ello constituye una problemática real en los talleres de producción discretos, sobre todo cuando se adopta una estrategia de Just in Time. Para ello es necesario considerar un tamaño de lote pequeño y un alto rendimiento en las operaciones. A lo anterior Habchi et al (1995) propone responder a las necesidades de los clientes en el momento adecuado, en las cantidades demandadas y en el lugar requerido. En la investigación se precisa y se plantea además una estrategia con mayor flexibilidad y rapidez en la configuración o tiempo de

cambio, también con diferentes lotes de productos y principalmente lead time (LT) cortos para mejorar el impacto en los sistemas de producción. (Habchi & Labrune, 1995)

El modelo y las pruebas se hicieron a través de la simulación, con la herramienta de lenguaje de propósito general "Siman", en primer lugar en la fabricación de un solo producto sin tiempo de preparación (tiempo de setup) y luego en la fabricación multi-producto con cruces en las rutas y tiempos de cambio. Para ambos casos se tuvieron en cuenta los flujos de las órdenes con demanda constante y variable. (Habchi, G. y Labrune, Ch., 1995)

Los resultados según (Habchi & Labrune, 1995), demuestran que el tamaño de lotes tiene un efecto muy importante sobre el rendimiento del sistema Job shop. Cuando aumenta éste valor por encima del óptimo, aumentan los plazos de entrega e inventarios en proceso, disminuyen, la producción total y las tasas de utilización del sistema.

Otros estudios que resaltan el impacto del Lead Time, es la investigación desarrollada por (Weng, 1996), plantea un modelo matemático para resolver problemas de planificación en el tiempo de producción, desde que se genera la orden de fabricación hasta que el producto alcanza el estado de terminado, con dos tipos de demanda. (Weng, 1996) plantea además un tipo de demanda sensible a Lead time de producción, en el cual, el aumento de los precios prevalecerá para los Lead Time cortos, y el otro tipo de demanda es con lead time no sensible. El objetivo del estudio es maximizar el beneficio esperado. (Weng, 1996).

Otros estudios relacionados con el Lead Time en los procesos de producción, son los adelantados por Ozturk, Kayalýgil, y Ozdemirel, (2005), los cuales hacen uso de la minería de datos para estimar los tiempos de entrega en los procesos de manufactura. Para ello, emplean el enfoque del árbol de regresión como el método específico de minería de datos. "Se generan datos de entrenamiento y de prueba a partir de las variaciones de un modelo de trabajo de simulación de compras.

La minería de datos con los atributos seleccionados se compara con la recta de regresión y otros modelos de estimación de tiempos. Los tres medios de control para el trabajo en una tienda para fabricación a la medida son: tiempo de espera de fabricación, la estimación para la revisión y liberación, y el trabajo de control de flujo a través del envío. Estos constituyen los instrumentos para una gestión eficaz de los recursos y de los costos con una calidad de servicio al cliente. (Ozturk et al, 2006).

El objetivo de la investigación es demostrar y analizar la aplicabilidad y el mérito que tiene la Minería de Datos (DM) como herramienta para extracción de conocimiento e información acerca de la estimación de los Lead Time. Al momento de compararla con otros métodos de la literatura, la minería de datos es un método eficiente, para la difícil tarea de gestionar y estimar los Lead Time, con el fin de planificar las actividades de taller.

La investigación realizada Ozturk (2006), en el uso de la minería de datos como sistema de información para determinar los tiempos de entrega, (Slotnick & Sobel, 2005), sostienen que el retraso de la producción por información incorrecta en los flujos de producción es una de las principales causas de las demoras en las entregas, lo cual puede resultar en multas y pérdida de reputación para la compañía.

Se pone de manifiesto nuevamente la relación que existe entre los tiempos de entrega (Lead Time) corriente abajo y la eficiencia de la cadena de suministro corriente arriba al momento de la distribución del producto al cliente final, independiente al canal de distribución empleado. (Slotnick & Sobel, 2005). Lo anterior concuerda con el trabajo realizado ( Kim , Chatfield , Harrison, & Hayya, 2006), el cual sostiene que el tiempo de entrega e independiente si es determinístico o estocástico, es considerado como uno de los factores que exacerban el efecto bullwhip.

Es evidente la importancia que estas investigaciones dan a la gestión y planificación de los tiempos de entrega a lo largo del flujo del proceso. Además resulta de gran importancia disponer, organizar y articular los elementos que están interactuando a lo

largo de toda la cadena de abastecimiento con el propósito de reducir los tiempos de entrega en cada etapa del proceso para maximizar el rendimiento de todo el sistema.

En el trabajo desarrollado por (Sanajian & Balcioglu, 2009), proponen explotar la ley de distribución de Little, para obtener la función de distribución en estado estable de la cantidad de clientes en un sistema de colas GI/G/1, con fabricación para stock. Igualmente (Sanajian & Balcioglu, 2009), sostiene que, “Al proporcionar una solución numérica de la GI/G/1, en la fabricación para stock, se observó el impacto de la variabilidad del tiempo de producción sobre las políticas óptimas de control de inventario”. Los resultados numéricos demuestran el grado de errores en los resultados si la distribución del tiempo de servicio exponencial se asume en lugar de la distribución real. (Sanajian N, et al., 2009).

En la investigación realizada por Orcuna, Uzsoyb y Kempfc (2008), proponen un modelo de producción de planificación integrada, dependiente de la carga, con los plazos de entrega y las existencias de seguridad.

Orcuna S., (2008), argumenta que, “En los últimos años se han presentado divergencias y paradigmas diferentes de investigación desarrollando un amplio conjunto de técnicas para abordar el problema de la planificación de la producción”. Lo particular es que cada uno de estos paradigmas se enfoca en situaciones o aspectos particulares del problema práctico, y como consecuencia a esta situación los resultados de las investigaciones no proporcionan una solución completa al problema general.

Por otro lado la mayor parte de los enfoques propuestos desconocen la dependencia y el tipo de dependencia entre factores que pueden resultar lineales o no lineales, como la utilización de recursos, los plazos de entrega y los stocks de seguridad.

El modelo propuesto por Orcuna (2009) plantea y formula un modelo de programación no lineal con programas y fechas de lanzamiento de órdenes de trabajo, garantizando además un nivel de servicio especificado, cuando se presenta incertidumbre en la demanda. También se introduce en la propuesta un procedimiento iterativo basado en

una heurística que resuelve una aproximación relajada del problema de programación lineal, y en cada iteración se determina el perfil de los plazos de entrega con el fin de programar los niveles de stock de seguridad.

## **2.5 El Lead Time y Su Impacto en el Desarrollo de Productos**

Otro estudio de gran interés es el realizado por (Tyagi , Yang, Tyagi , & Dwivedi, 2011), quienes desarrollaron un modelo con lógica fuzzy y programación por metas, para la optimización del tiempo de entrega (Lead Time - LT) y el costo en proyectos para desarrollo de productos, usando un enfoque de Optimización basada en Enjambre de Partículas con filtrado Gaussiano Adaptable (GA-PSO). En este sentido el fin de la investigación es presentar una metodología para minimizar el tiempo de entrega (LT) y el costo en el desarrollo de productos, teniendo como base modelos para estimar la cantidad óptima de superposición de etapas (ingeniería concurrente) y la política de comunicación. Tyagi et al (2011).

Por otro lado (Yeu-Shiang Huang., Wei-Jun Su, & Zu-Liang Lin, 2010), se enfocan precisamente en aquellos productos que se deterioran rápidamente. En la reciente investigación, “Un estudio sobre la coordinación de descuento en los plazos de entrega para los productos de deterioro”, propuesto por Yeu-Shiang H, (2010), establece, que existen muchos bienes que fluyen a través de las cadenas de suministro y que estos suelen deteriorarse (productos perecederos). Estos productos o bienes que se deterioran rápidamente con el tiempo, provocan la caída de sus valores o limitan la capacidad de la entrega y el despacho entre los diferentes clientes de la cadena.

El estudio de (Yeu Shiang H., 2010), se centra en la coordinación de los tiempos de entrega de las cadenas de suministro con productos de deterioro, adicionalmente concluye que la cooperación y las relaciones de los miembros, facilita e incrementa los beneficios en todo el sistema.

Sin embargo la investigación se centra básicamente en materiales o productos perecederos, con una limitante adicional en el modelo, pues considera una cadena de

suministro con dos niveles un solo proveedor y un solo minorista. Además el modelo no contempla la incertidumbre y la variabilidad en la demanda para cada periodo, y el riesgo implícito ocasionado por el comportamiento estocástico de alguno de los parámetros en la cadena de suministro.

## **2.6 El Impacto de los Tiempos de Entrega en la Programación de la Producción**

Además de revisar el impacto del Lead Time en la planificación de la producción Selcuk, & De Kok, (2004), enfoca su investigación sobre la importancia en mostrar el efecto de la actualización de los plazos de entrega (Lead Time) en el desempeño de un sistema de planificación de dos niveles jerárquicos. Los tiempos de entrega se actualizan mediante la adopción de la retroalimentación periódica de la información más reciente del entorno de producción y el uso de esta información en la estimación de los plazos de entrega para la programación de las órdenes de producción en el futuro. (Selcuk, et al., 2004).

Además Selcuk (2004), para su estudio emplea un modelo de simulación sobre la base de planificación de varias etapas y un ambiente de programación de la producción donde algunos componentes se fabrican en un taller de trabajo y los productos finales se fabrican en un taller de flujo.

“Los resultados demuestran que bajo ciertas condiciones, las frecuentes actualizaciones de los plazos dará lugar a sistema de producción no controlado, con tiempos de entrega errática y muy largos” (Selcuk, et al., 2006).

El objetivo fundamental de la investigación es proporcionar la información cualitativa y cuantitativa, acerca de cómo actualizar los plazos de entrega en cada etapa, dado que la nueva etapa de planificación, puede afectar al rendimiento el sistema de planificación de dos niveles jerárquicos. (Selcuk et al., 2004).

La investigación realizada por (Orcuna, Uzsoyb y. Kempfc (2008), propone “Un modelo de producción de planificación integrada, dependiente de la carga con los plazos o tiempos de entrega y las existencias de seguridad.”

En resumen, esta labor de coordinación entre los flujos de los procesos de producción; el suministro y entrega de materiales, la demanda del mercado y la atención de los clientes, relacionándolos con los Lead Time, garantizarían en buena medida una eficiente gestión y un óptimo desempeño del sistema. (Orcuna, Uzsoyb y. Kempfc (2008).

## CAPÍTULO 3

### 3 REVISIÓN DE LA BASE CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se amplía sobre los aspectos conceptuales más relevantes que se tendrán en cuenta en la presente investigación, para a medir el impacto de los Lead Time (LT) por parte de proveedores en el suministro de partes. Se ha considerado para ello el tipo de estructura del producto, el plan de producción (MPS), en horizonte rodante, el plan de Requerimientos de Materiales MRP, con su respectiva lista de materiales y recursos empleados para fabricación.

La lista de materiales (lista BOM o Bill of Materials), indica los materiales y componentes que integran cada producto, su secuencia de montaje y las cantidades necesarias de cada uno de ellos (Miranda, Rubio, Chamorro, & Bañegil, 2005).

Además la lista de materiales, define un producto basado en su estructura, en ella se muestra los requerimientos y materiales para cada componente (Heizer, J. & Render B., 2009). Así mismo, la lista de materiales contempla la información necesaria para realizar el cálculo de requerimientos de materiales y materia primas, además de considerar los LT de producción o de compras.

Oras consideraciones para abordar la investigación se relaciona con el horizonte de planificación y el periodo de replanificación bajo el concepto de horizonte rodante, con incertidumbre en la demanda. Esta variabilidad en la demanda está influenciada además por dos factores, un coeficiente de variación dependiendo de la media de los datos, y un factor de heterogeneidad de la demanda. Adicionalmente a las consideraciones para medir el impacto del Lead Time y el desempeño del sistema se emplea el modelo matemático GMOP, cuyo objetivo es minimizar los costos de Setup, los Costos de Inventario, y los Costos de planificación de los Stroke, producto de los parámetros y variables que intervienen en el modelo, entre ellos, los niveles de inventario, la demanda del producto, y el tiempo de entrega por parte de proveedores. Todos estos elementos que están siendo

considerados en la investigación y por las características mismas del modelo de optimización, se deriva la complejidad en el sistema. Como se explicó anteriormente, esta complejidad se deriva de la incertidumbre en los LT, y de la variabilidad en la demanda. Por consiguiente, es importante precisar los conceptos que formaran la base para abordar la presente investigación.

### **3.1 Base conceptual del Plan Maestro de Producción (MPS)**

Normalmente el Plan Maestro de Producción o por sus siglas en inglés, Master Production Scheduling (MPS), es un plan que determina la cantidad de ítems a producir y en qué tiempo (Zukui 2010).

La Planificación de la producción y la programación pertenecen a uno de los niveles de toma de decisiones más importantes en la industria de procesos (Zukui 2010).

Al momento de elaborar un plan de producción y ventas para una cadena de suministro, es muy común distinguir en la literatura entre tres niveles de planificación con los diferentes horizontes de tiempo. (Glomvik Rakke , y otros, 2009). Los niveles de planificación estratégica, táctica y operacional.

La planificación de las cadenas de suministro a nivel estratégico son decisiones a largo plazo importantes para la planificación táctica y operativa, y tienen un alto espectro en los próximos años, incluyen los activos físicos asociados a la planta, además “consiste en determinar la configuración de la red, el número de socios en la cadena, la ubicación, la capacidad y la tecnología de las entidades participantes” (Maheut 2010).

A nivel táctico es considerada de un año con algunas extensiones de un año y medio. El objetivo es determinar el calendario óptimo de fabricación, incluyendo las fechas de entrega o tiempos de entrega (Lead Time), dependiendo también de la demanda, de los pedidos de los clientes y de los niveles de inventarios. (Glomvik et al 2009).

A nivel operativo las actividades se programan hasta tres meses. Incluye entre otros la programación de personal y de materiales, así como la programación de lotes y programación de máquinas, inventarios, transporte y el programa de ventas.

La clasificación de la cadena de suministro (CS) en los niveles: Estratégico, Táctico y Operativo, efectuada por (Chopra & Meindl, 2006), (Landeghema, & Vanmaele, 2002), y otros autores clasifican las tareas de planificación de acuerdo al horizonte de planificación y la importancia de las decisiones, en: planificación de largo plazo, planificación de medio plazo y planificación de corto plazo. (Calderon Lama, 2011). En la Tabla 1 se muestra la relación entre el “horizonte de planificación” y “proceso de la CS”.

Tabla 1 **Relación entre horizonte y proceso de la CS**

Horizonte de Planificación	Procesos de la CS (Fleischmann et al., 2005)			
	Aprovisionamiento	Producción	Distribución	Ventas
Largo Plazo	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Programa de materiales</li> <li>✓ Elección de Proveedores</li> <li>✓ Cooperación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Localización de plantas</li> <li>✓ Sistema de producción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estructura física de la distribución</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Programa de producto</li> <li>✓ Planificación estratégica de ventas</li> </ul>
Mediano Plazo	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Planificación de personal</li> <li>✓ MRP</li> <li>✓ Contratos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Plan Maestro de Producción</li> <li>✓ Planificación de la capacidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Planificación de la distribución</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Planificación de ventas de mediano plazo</li> </ul>
Corto plazo	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Programación de personal</li> <li>✓ Pedidos de materiales</li> <li>✓ Tamaño de lotes</li> <li>✓ Programación de Máquinas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tamaño de lotes</li> <li>✓ Programación de máquinas</li> <li>✓ Control en planta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Reposición de inventarios</li> <li>✓ Programación del transporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Programación de ventas de corto plazo</li> </ul>

Además, el plan maestro de producción (MPS) es una decisión táctica-operativa de la dirección relacionada con las órdenes de trabajo, y la cantidad de sub-ensambles y ensambles (Operaciones-Stroke) que deben programarse y ser fabricadas en el siguiente período. También debe considerar los resultados de los periodos anteriores y la estimación de los próximos periodos, con el fin de asegurar la disponibilidad de los materiales y recursos que se requieren en el horizonte de planificación.

El Plan Maestro de Producción (*Master Production Scheduling*, MPS) es un enlace entre las estrategias generales de la compañía y los planes tácticos que le permite alcanzar sus metas. El MPS proporciona información esencial para áreas funcionales, tales como operaciones, marketing y finanzas, e insumo para preparar un plan detallado de producción. El MPS parte de las estimaciones de la demanda y del plan agregado de producción, adicionalmente suministra información para el departamento de producción, y su objetivo

es determinar las cantidades exactas de fabricación y el tiempo de entrega para los productos terminados o sub-ensambles. Además debe tener en cuenta las restricciones de fabricación, de capacidad y los inventarios de cada periodo en el horizonte del MPS.

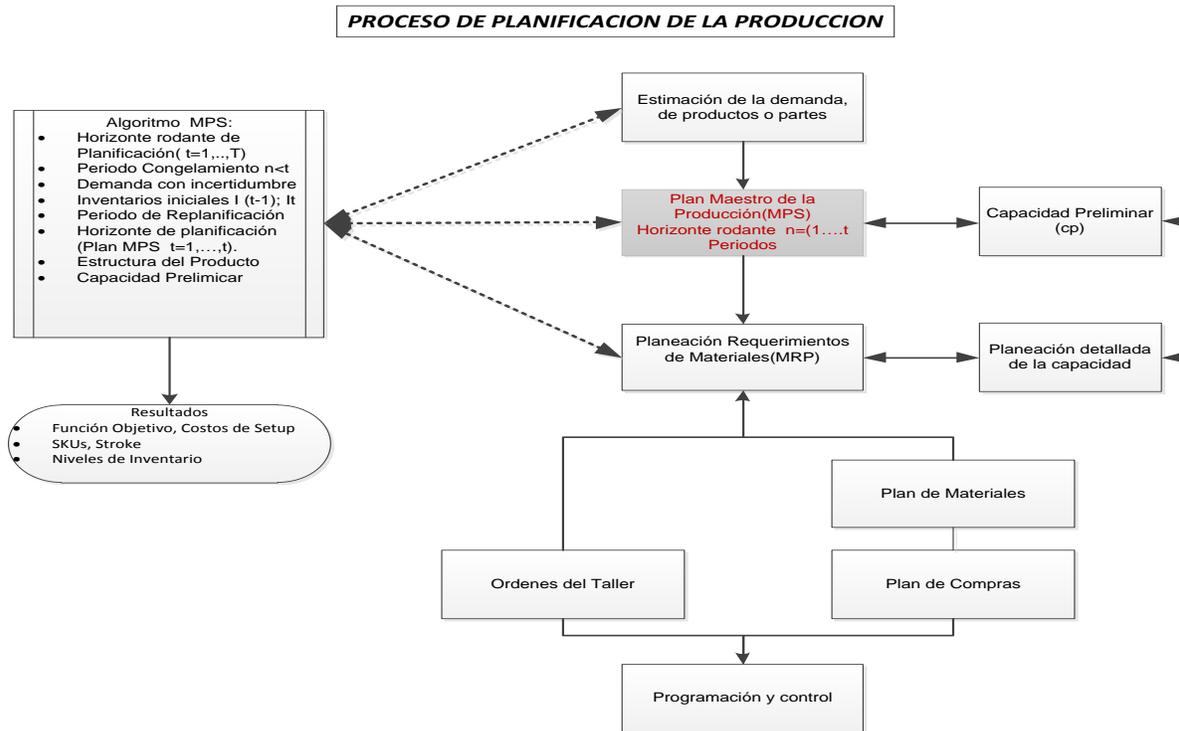
El problema de la planificación se resuelve de predecir los objetivos de producción y flujo de materiales sobre un horizonte de planificación, para satisfacer la demanda de los clientes. Los problemas de planificación de la producción tratados en toda la SC son generalmente complejos. Lai et al. (2002) y Joseph (2002), recomiendan dividir los modelos y analizarlos como sub-problemas. Algunos autores afirman que el plan maestro de producción se obtiene desagregando el plan agregado de producción de acuerdo con los principios de la planificación jerárquica de la producción.

(Lee H. L., 2002) Propone un enfoque híbrido combinando la programación lineal con la simulación para solucionar problemas de producción-distribución de nivel táctico-operativo en la cadena de suministro. Consideran el problema de producción-distribución, bajo el concepto de multietapa, multiperiodo, multiproducto, multinivel y multitaller. (Calderón et al 2008).

En la Figura-1, se muestra la relación existente entre el plan MPS, el MRP y algunas consideraciones, entre variables y parámetros a tener en cuenta en la investigación. El plan MPS, debe operar en un horizonte rodante, esto implica la replanificación de los niveles de inventario, y por consiguiente los costos respectivos, los cuales dependen de la incertidumbre y variabilidad presente en la demanda. Se muestran además otras relaciones como son: el tipo de estructura del producto o lista de materiales, y la capacidad preliminar de las operaciones y los productos, los cuales se reflejarán en el modelo matemático bajo el concepto de Stock y Skus, conceptos que serán ampliados más adelante. En el siguiente punto, se complementan los aspectos conceptuales para operar el plan MPS en horizonte rodante.

### 3.2 Aspectos Conceptuales Para el MPS en Horizonte Rodante

El plan Maestro de Producción (MPS), como lo establece (Xie, Zhao, & Lee, 2003), es una actividad muy importante para el proceso de planificación y control de la producción.



**Figura 1. Proceso de Planificación de la producción.**  
Fuente: Elaboración propia, a partir de: Calderón et al 2008.

La rigurosidad y calidad con la que se elabora el MPS, pueden influir significativamente en el costo total, en los tiempos de planificación, y en la inestabilidad del nivel de servicio y de los inventarios de un sistema de producción.

Por otro lado Xie et al. (2003), propone que el MPS impulsa la planificación de requerimientos de materiales (MRP) y el sistema proporciona el vínculo importante entre la previsión o pedidos realizados por los cliente y las actividades de planificación de la producción por un lado, y por otro lado la planificación detallada que establece la programación de componentes y materias primas. Cobra especial relevancia también los ajustes frecuentes realizados al MPS, los cuales pueden inducir a cambios importantes en la programación detallada del MRP, lo que originaría alteraciones en los planes, y por

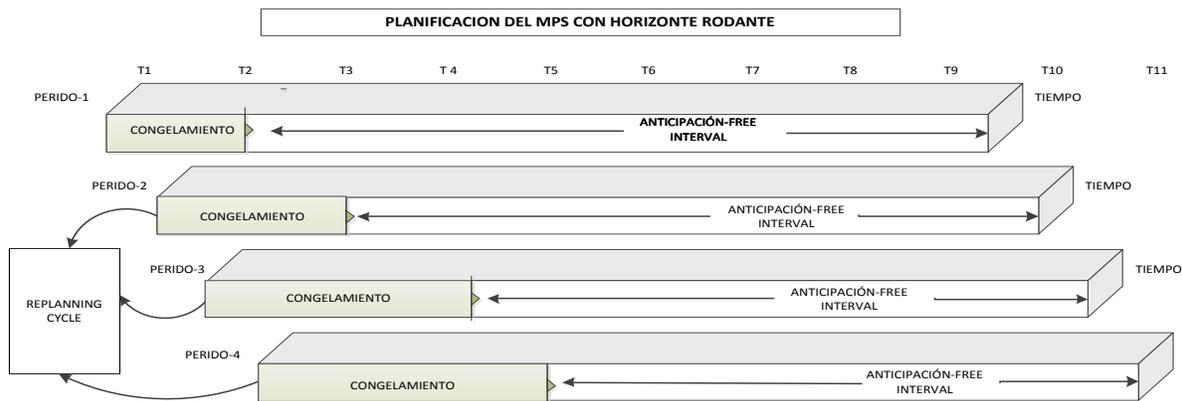
consiguiente aumento en el nerviosismo del sistema, tema que será tratado ampliamente más adelante. Estos cambios pueden dar lugar a:

- Aumentos en la producción.
- Variabilidad en los costos de inventario y deterioro.
- Cambios en el nivel de servicio al cliente.

Este fenómeno se conoce como la inestabilidad en la programación y los tiempos o nerviosismo del MRP.

Para la planificación de MPS en un horizonte rodante, el período de planificación se divide en dos partes, Ver Fig. 2. La primera parte es el periodo de planificación de negocios, la segunda parte es el período de planificación con anticipación. La solución de esta parte se utiliza solo para determinar un escenario anticipado. (Bredstom, et al 2010).

En un entorno de horizonte móvil, lo primero que se debe resolver en el problema es el periodo T1, como la solución del periodo. La demanda se conoce en el primer periodo y con incertidumbre en los límites inferior y superior para los periodos restantes. Luego se congela esta etapa y la nueva información del MPS se actualiza para formular un nuevo modelo, este se fija, con un nuevo periodo de programación en el extremo derecho. Este nuevo segundo periodo se repite de forma continua. (Bredstom, et al 2010). En la Figura 2 se muestra el horizonte de planificación, el periodo de congelamiento y el periodo de replanificación.



**Figura 2. Proceso de Planificación de la producción con horizonte rodante.**

Fuente: Bredstom, et al (2010).

En la investigación realizada por, (Zhao & Lee, 1996), se estudió el impacto que tiene la congelación de los parámetros de MPS en el desempeño de los sistemas de producción de varios artículos de un solo nivel y restricción única de recursos, con demanda de tipo determinista. Zhao et al. (1996) encontraron que algunas de las conclusiones no se podían generalizar en un modelo y aplicarlos a entornos realistas, sin incluir las limitaciones de capacidad. En la investigación realizada por, (Xie, Zhao, & Lee, 2003), encontraron que una de las limitaciones en Zhao et al. (1996), no tenía en cuenta la incertidumbre en la demanda. En el estudio planteado por Xie et al. (2003), propone un modelo que incluye el impacto del congelamiento del MPS en un entorno con múltiples productos, con una sola limitación en los recursos, pero con incertidumbre en la demanda. Para la presente investigación se tienen en cuenta las limitaciones de capacidad y de recursos, las cuales se incluyen en el modelo matemático GMOP, se considera también la incertidumbre de la demanda, en un entorno multiproducto, con un sistema de planificación desde un horizonte rodante, con periodos de replanificación y congelamiento,

Debido a ello Xie et al. (2003), sostienen que el desarrollo y mantenimiento MPS bajo las restricciones de capacidad e incertidumbre en la demanda es mucho más complejo para trabajar, que bajo ninguna de las limitaciones de capacidad y de incertidumbre en la demanda. Tanto las limitaciones de capacidad e incertidumbre en la demanda pueden influir significativamente en la selección de los parámetros de congelación del MPS.

Por otro lado, y dada la importancia y dificultad de mantener un MPS estable, y el mantener un equilibrio en los costos durante el horizonte de planificación, además de programar la inestabilidad y el nivel de servicio al cliente, y la toma de decisiones del periodo de congelamiento del MPS, investigadores como Blackburn et al. (1987), proponen cinco estrategias diferentes para reducir el nerviosismo del MRP. Entre ellas, propone la congelación del MPS, como una de las estrategias más eficaces para reducir el impacto en los costos, en los horarios y tiempos, y en el mejoramiento de los niveles de servicio. Xie et al. (2003).

### **3.3 Parámetros, Variables y Función Objetivo, del Modelo Matemático GMOP**

#### **3.3.1 Justificación del Modelo GMOP.**

Como se mencionó anteriormente, el propósito de la presente investigación es el estudio y análisis del impacto de los tiempos de entrega, evaluar el comportamiento del sistema bajo un ambiente simulado controlable. Condicionado a operar con parámetros, variables y factores que describan de la manera más acertada posible la funcionalidad de una cadena de suministro y su entorno productivo.

Para ello es preciso trabajar con un modelo que planifique el MRP y a través de su función objetivo permita medir este impacto en términos de costo, más específicamente el impacto de los tiempos de entrega en los costos totales del sistema y los costos de Setup. En ese sentido se propone el modelo matemático Generic Materials & Operations Planning (GMOP), que adicional al estudio de los costos de setup, permite evaluar, aspectos como los costos y niveles de Inventario, los costos y volúmenes de producción, además de las órdenes o pedidos atrasados, y con la variante que trabaja bajo el concepto de Stroke y SKUs, lo cual lo diferencia de otros modelos para planificar el MRP.

Este modelo al igual que los sistemas MRP, también incluye la restricción de capacidad del proceso, así como el manejo de situaciones complejas que involucran un buen número de estructuras de productos y sus respectivos niveles de productos. Existen algunos problemas que se presentan en los sistemas MRP tradicionales, los cuales tienen que ver con la correcta parametrización del sistema, la falta de integración entre estaciones de trabajo, los tiempos de entrega a corto plazo por producto, y la inestabilidad del sistema por las permanentes reprogramaciones, generando con ello inventario de productos innecesarios.

#### **3.3.2 Antecedentes y Aspectos Básicos del Modelo GMOP.**

La gestión de requerimientos de materiales con varios niveles en la estructura del producto se hace visible a partir de los años 1970 e impulsada por Orlicki (1975), esta

metodología conocida como Material Requirement Planning (MRP), está basada en la planificación de la lista de materiales. ( Maheut & Garcia-Sabater, 2011).

Billington et al. (1983) propusieron plantear el MRP con restricciones de capacidad, mediante programación matemática. El planteamiento de los autores consistía en asignar una única lista de materiales y una lista única de recursos a cada producto susceptible de ser ensamblado. Esta estructura se ha mantenido en la literatura desde entonces sin modificaciones. ( Maheut & Garcia-Sabater, 2011).

Maheut et al. (2011). Propone el uso de una nueva estructura que reemplaza la tradicional lista de materiales y recursos empleada en el MRP. La construcción y la forma de interpretar la nueva estructura de lista de materiales, basándose en el modelo (GMOP), el cual emplea cuatro matrices, para la planificación de las operaciones y bajo el mismo esquema a la establecida en el MRP. La diferencia estriba en las diferentes alternativas o estructuras posibles que se pueden concebir para la fabricación del producto. Este esquema presenta rutas alternativas en materiales y estructura para la fabricación, dando con ello a nuevas posibilidades de mejora en los servicios y costos del MRP. Estas alternativas se basan específicamente en las operaciones que están relacionadas con el aprovisionamiento, con los procesos de transformación y los procesos de transporte y redes de suministro de tipo multi-sitio. En este punto se incluyen las diferentes opciones y efectos de Lead Time. Maheut et al. (2011).

Además Maheut et al. (2011), en su investigación presenta una doble contribución. En una primera instancia presenta modelo Generic Materials & Operations Planning (GMOP), incorporándole las recepciones programadas, bajo el concepto de Stroke y Skus, en todo el horizonte de planificación. En esta misma instancia se considera además el problema de planificación en una red de suministro de tipo multi-sitio, con la incorporación también de las recepciones programadas, y las restricciones en los recursos empleados.

Por otro lado Maheut et al. (2011), proponen una nomenclatura diferente para diferenciar los productos, el cual incluye además del nombre o la referencia de cada

producto, se define además su embalaje, la ubicación de cada artículo y la cantidad de unidades(Skus) en cada embalaje.

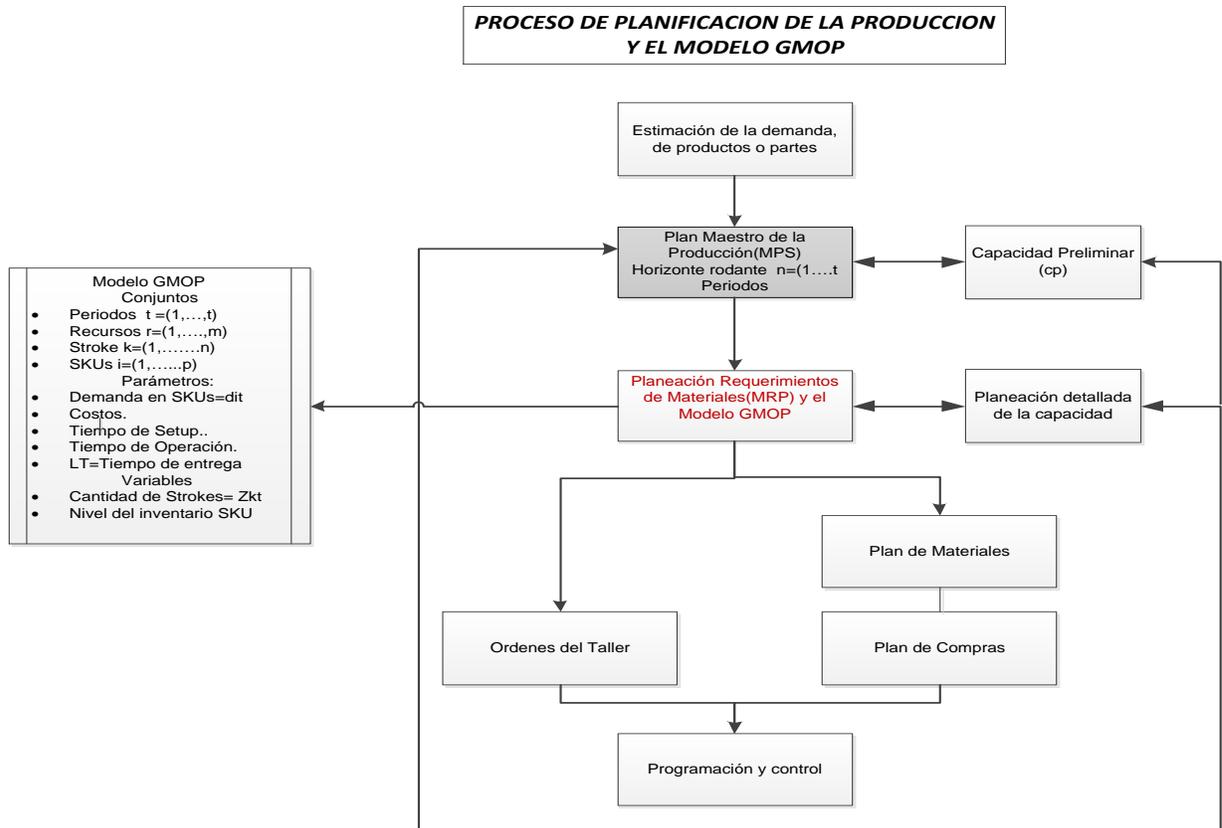
El segundo aporte es la implementación y análisis de matrices, que son empleadas para facilitar la utilización del modelo, que aplica como herramienta el concepto de Stroke.

Maheut et al. (2011), establece que los productos que se trabajan en el modelo GMOP, pueden ser SKU(Stock Keeping Units). Explicados de manera simple, corresponde a productos en su embalaje y su ubicación, además considerando los recursos que se requieren en el proceso y que se tienen que planificar. Por otro lado, Maheut et al. (2011), asume que cada stroke puede requerir un producto o un conjunto de productos, en su embalaje y localización, que se solicita y se consume en un stroke determinado, a este elemento se le conoce como stroke out-put.

En el siguiente diagrama Figura 3 se muestra la relación entre el mercado y la instalación de producción. El plan de producción debe especificar las cantidades de cada producto final, los sub-ensambles identificados en el modelo GMOP como Stroke output, las partes compradas o materiales que se requieren en distintos puntos del horizonte de planificación, denominados SKUs y dependen de la estructura multinivel del producto o lista de materiales. (Maheut et al., 2011).

### **3.3.3 Modelo Matemático GMOP.**

La notación del modelo GMOP, se presenta en la tabla -2. El objetivo del modelo, como se expresó anteriormente consiste, en minimizar los costos de setup de los Stroke, y de los costos de almacenamiento. La ecuación 2 y 3 del modelo representa la cantidad de flujo de los materiales, la ecuación -3 indica que si se presenta un Stroke en el periodo  $t$ , entonces se presenta costo de preparación, la restricción -4 representa, limitación en la capacidad, de cada recurso en cada periodo. De acuerdo a lo anterior se puede inferir que el modelo anterior es un modelo NP-Hard. ( Maheut & Garcia-Sabater, 2011). El modelo matemático es el siguiente:



**Figura 3. Proceso de Planificación de la producción.**  
Fuente: Elaboración propia, a partir de: Calderón et al 2008.

### Modelo Matemático General GMOP

#### *Índices y Conjuntos*

$i \in P = \{1, \dots, p\}$  SKUs

$r \in R = \{1, \dots, m\}$  Recursos

$k \in S = \{1, \dots, n\}$  Strokes

$t = 1 \dots T$  Periodos

$L_x \subseteq S$  Conjunto de Strokes cuyo Lead Time es inferior a  $X \in \{0, \dots, 1\}$

$S_r \subseteq S$  Conjunto de Strokes que utilizan el recurso  $r$

### Parametros

$d_{it}$  Demanda en SKU  $i$  durante en el periodo  $t$

$h_{it}$  Coste de almacenar una unidad de SKU  $i$  durante el periodo  $t$

$ot_{kr}$  Tiempo de operación para la ejecución de una unidad de stroke  $k$  en el recurso  $r$

$st_{kr}$  Tiempo de setup del stroke  $k$  en el recurso  $r$

$p_{kt}$  Coste de planificar la ejecución de una unidad de stroke  $k$  durante el periodo  $t$

$f_{kt}$  Coste de setup del stroke  $k$  durante el periodo  $t$

$I_{i0}$  Nivel inicial de inventario del SKU  $i$

$Y_{it}$  Recepciones planificadas en SKUs  $i$  durante el periodo  $t$

$K_{rt}$  Capacidad disponible del recurso  $r$  durante el periodo  $t$

$SO_{ik}$  Número de unidades de SKUs  $i$  resultado de la ejecución de una unidad de stroke  $k$  (stroke output factor)

$SI_{ik}$  Número de unidades de SKUs  $i$  que se consumen durante la ejecución de una unidad de stroke  $k$  (stroke input factor)

$LT_k$  Lead time de un stroke  $k$

### Variables

$Z_{kt}$  Cantidad de strokes  $k$  que empiezan durante el periodo  $t$

$I_{it}$  Nivel de inventario del SKU  $i$  al final del periodo  $t$

$\delta_{kt}$  Vale 1 si el stroke  $k$  esta en set up durante el periodo  $t$  (0 en caso contrario)

$F$  Función Objetivo, Minimización de los Costos totales de Setup de los Strokes, de los Costos unitarios de Stroke, y los Costos de Almacenamiento.

### Funcion Objetivo

$$\text{Minimizar } F(z, I, \delta) = \sum_{t=1}^T \left( \sum_{i \in P} (h_{it} * I_{it}) + \sum_{k \in S} (p_{kt} * z_{kt} + \delta_{kt} * f_{kt}) \right)$$

Sujeto a :

$$I_{i,t} = I_{i,t-1} + Y_{it} - d_{it} + \sum_{k \in S} (SO_{ik} * z_{k,t-Lt_k}) - \sum_{K \in S} (SI_{ik} * z_{kt}) \quad i \in P, t = I + L, \dots, T$$

$$I_{i,t} = I_{i,t-1} + Y_{it} - d_{it} + \sum_{k \in L_{t-1}} (SO_{ik} * z_{k,t-Lt_k}) - \sum_{K \in S} (SI_{ik} * z_{kt}) \quad i \in P, t = L, \dots, I$$

$$z_{kt} - M * \delta_{kt} \leq 0 \quad k \in S, t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{K \in S} (\delta_{kt} * st_k + z_{kt} * ot_{kr}) \leq K_{rt} \quad r \in R, t = 1, \dots, T$$

$$I_{i,t} \geq 0 \quad i \in P, t = 1, \dots, T$$

$$z_{kt} \geq 0, \delta_{kt} \in \{0,1\} \quad k \in S, t = 1, \dots, T$$

### 3.3.4 Modelo Matemático Ajustado GMOP.

Para efectos de programación fue necesario adaptar el modelo general al modelo ajustado, para ello se incluyeron otras restricciones y parámetros que facilitaran la interpretación y análisis del modelo, los parámetros y variables del modelo.

#### *Set*

$i$  *Productos SKUs*  $i = 1, \dots, 50$

$r$  *Recursos*  $1, \dots, 4$

$k$  *Stroke*  $1, \dots, 50$

$t$  *Periodos*  $= 1, \dots, 52$

$la(t)$  donde *Periodo*  $t = 1$

$lb(t)$  donde *Periodo*  $t = 2, \dots, 52$

#### *Parámetros*

$D_{it}$  *Demanda en SKU,  $i$  durante el periodo  $t$*

$h_{it}$  *Costo de almacenar una unidad SKU,  $i$  durante el periodo  $t$*

$Ot_{kr}$  *Tiempo de Operación para la ejecución de una unidad de Stroke en el recurso  $r$*

$St_{kr}$  *Tiempo de Setup del Stroke  $k$  en el recurso  $r$*

$P_{kt}$  *Costo de planificar la ejecución de una unidad de Stroke  $K$  durante el periodo  $t$*

$F_{kt}$  *Costo de Setup del Stroke  $k$  durante el periodo  $t$*

$Ii_o$  *Nivel inicial del inventario de SKUs  $i$*

$Y_{it}$  *Recepciones Planificadas en SKUs  $i$  durante el periodo  $t$*

$Cd_{rt}$  *Capacidad disponible del recurso  $r$  durante el periodo  $t$*

$So_{ik}$  *Numero de unidades de SKUs  $i$ , resultado de la ejecución de una unidad del Stroke  $k$*

$Si_{ik}$  *Numero de unidades de SKUs  $i$  que se consumen durante la ejecución del Stroke  $k$*

$Lt_k$  *Lead Time de un Stroke  $k$*

### Variables

$Z$  Función objetivo Costos Totales del Setup

$Sk_{kt}$  Cantidad de Strokes  $k$  que empiezan durante el periodo  $t$

$In_{it}$  Nivel del inventario del SKUs  $i$  al final del periodo  $t$

$J_{kt}$  Vale 1 si el Stroke  $k$  esta en setup durante el periodo  $t$  (0 en caso contrario)

$con_{ikt}$  Variable de consumo

$x_{ikt}$  Unidades producidas

$consumos_{it}$  Consumos para segundo balance de inventario

$produccion_{it}$  Producción de SKUs por cada Stroke en el periodo  $t$

### Función Objetivo

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{i=1}^n (h_{it} * In_{it}) + \sum_{k=1}^K (P_{kt} * Sk_{kt} + J_{kt} * F_{kt}) \right]$$

### Restricciones

$$In_{i,la} = Iio_i + Y_{i,la} - D_{i,la} - consumos_{i,la} + produccion_{i,la}$$

$$In_{it} = In_{i,t-1} + Y_{it} - D_{it} - consumos_{it} + produccion_{it}$$

$$produccion_{it} = \sum_{k=1}^k x_{ikt}$$

$$x_{ikt} = So_{ik} * Sk_{k,t-Lt(k)}$$

$$con_{ikt} = Si_{ik} * Sk_{kt}$$

$$consumos_{it} = \sum_{k=1}^k con_{ikt}$$

$$S_{kt} - M * J_{kt} \leq 0$$

$$\sum_{k \in s} (J_{kt} * St_{kr} + Sk_{kt} * Ot_{kr}) \leq Cd_{rt}$$

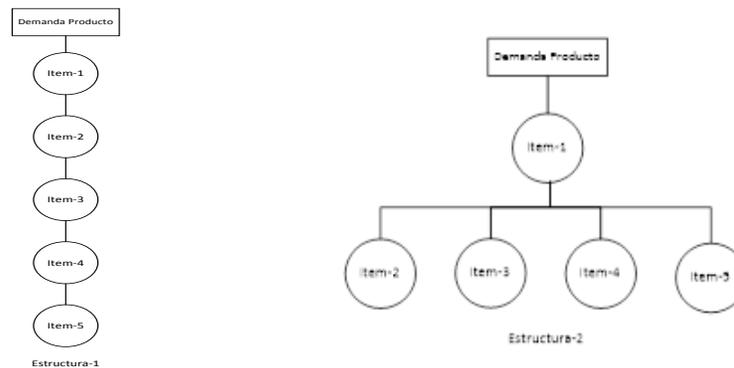
$$In_{it} \geq 0; Sk_{kt} \geq 0; J_{kt} \in \{0, 1\}$$

## 3.4 Los Niveles y Tipo de Estructura Del Producto

### 3.4.1 Referente conceptual estructura de producto.

Para definir las estructuras del producto y sus respectivos niveles (listas Boom o modelo de Gozinto), se parte de la investigación de (Prasad & Krishnaiah, 2001) el cual trabaja con un algoritmo genético para resolver el problema del tamaño de lote en un entorno multinivel, combinado con el modelo Bit\_Mod heurístico. Para ello emplea cinco

estructuras de productos con su respectivo índice de Gozinto. Además utiliza cuatro variables para el caso de estudio; La estructura del producto, el horizonte de planificación, los tamaños de lotes con y sin periodo de congelamiento y los patrones de demanda. (Prasad & Krishnaiah, 2001). De acuerdo a la investigación de Prasad et al(2001), en la Figura-4 se detallan las cinco estructuras basicas de productos considerados para la simulación, que posteriormente se redefinen y se adaptan los mismos niveles teniendo en cuenta el concepto de Stroke y SKUs del modelo GMOP. Por otro lado (Blackburn, Kropp, & Millen, 1985) utiliza dos estructuras de productos con diferentes niveles en la lista de materiales (Bill of Materials) y varias relaciones de componentes de padres(Figura-4). La primera estructura(producto -1) refleja el tipo puro de proceso de fabricación, y la segunda estructura refleja el proceso puro de ensamble.



**Figura 4. Estructuras de productos puras.**  
Fuente: Blackburn et al, (1985).

### 3.4.2 Estructuras básicas de productos.

Prasad et all (2001), propone cinco tipos de estructuras, una estructura pura de proceso y una estructura pura de ensamble , y tres estructuras que combinan procesos y ensamble. Para el presente estudio se trabaja con las cinco estructuras propuestas por Prasad et al (2001). Bajo el nuevo enfoque que resalta las tendencias para la gestión de las cadenas de suministro de tipo multiestructural, en la investigación propuesta por (Dmitry , Boris , & Joachim , 2009), establece que y una de las principales características de la cadena de suministro es el diseño de estructuras múltiple y la variabilidad de los parámetros estructurales a causa de factores objetivos y subjetivos en diferentes etapas de la oferta

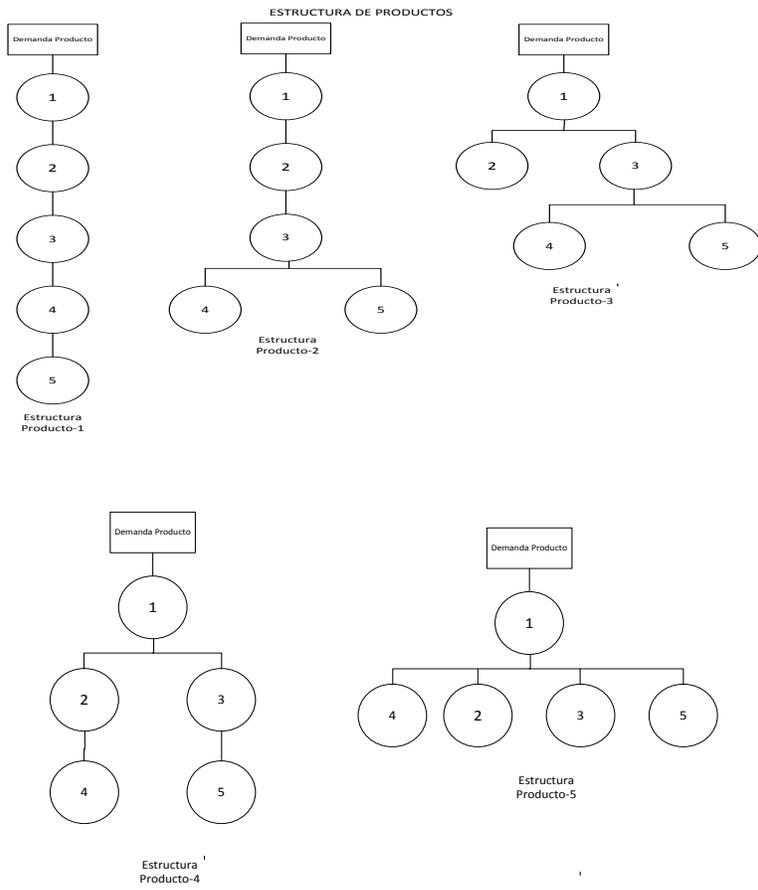
ciclo de vida de la cadena. En otras palabras, la dinámica de las estructuras de ASC son constantemente encontradas en la práctica. En ese sentido las principales estructuras que conforman una cadena de suministro dinámicas son ; la estructura del producto (lista de materiales ), la estructura funcional (estructura de las funciones de gestión y procesos de negocio), la de organización (estructura de instalaciones, empresas, gestores y trabajadores), la estructura técnica y tecnológica (estructura de las operaciones tecnológicas para la producción de productos y la estructura de las máquinas, la estructura topológica (geográfica), la estructura de información informacional (estructura de los flujos de información ), y la estructura financiera (estructura de costos de la cadena de suministro y centros de beneficio). Según (Dmitry , & Joachim , 2009), si el cambio y la dinámica de las estructuras mencionadas anteriormente están presentes en la SC, estas pueden considerarse como estados y pasar de estado  $S_0^{(\delta)} \dots S_k^{(\delta)}$ , estos cambios de las estructuras de un estado a otro generan cambios también en otras estructuras. En ese sentido es importante evaluar la incertidumbre de la demanda o cuando se añaden nuevos productos, el poder identificar el estado más favorable para operar la SC. En la tabla 1 se simplifican las estructuras que conforman una SC.

Variants of multi-structural states	Supply chain structure dynamics			
	$S_0^{(\delta)}$	$S_1^{(\delta)}$	...	$S_k^{(\delta)}$
Supply chain structures			...	
Product structure			...	
Functional (business-process) structure			...	
Organizational structure			...	
Technical-technological structure			...	
Topological structure			...	
Financial structure			...	
Informational structure				

**Tabla 1 Estructuras y estados variables de la SC**

Fuente: (Dmitry , Boris , & Joachim , 2009)

Con relación a las estructuras de la Figura 5, las cuales se basan en el concepto de Gozinto, estas deben ser adaptadas al concepto de Stroke y SKUs, en el aparte 7.2 se muestra la relación entre Stroke, y SKUs.



**Figura 5. Estructuras básicas de productos.**  
 Fuente: Prasad & Krishnaiah, (2001).

# CAPÍTULO 4

## 4. ORGANIZACIÓN Y DISEÑO METODOLOGICO DE LA SIMULACIÓN

### 4.1 Caracterización de las Instancias para la simulación

En este aparte se relacionan las características que son comunes a las diferentes instancias, los datos o parámetros empleados en cada problema, el horizonte de planificación, y los periodos de replanificación que se requieren para la simulación.

#### 4.1.1 Datos y parámetros del sistema.

En cuanto a la parametrización del sistema MRP, existen muchos factores que afectan el rendimiento del MRP. La configuración de estos parámetros está relacionada con el modelo GMOP, las cinco estructuras propuestas y los 10 productos con diseños diferentes por cada estructura, para un total de  $i=50$  productos. Además los factores de entrada y las variables de salida, que operando bajo condiciones de incertidumbre, de alguna forma afectan e inciden en la eficiencia del sistema. Los datos empleados para esta simulación, fueron obtenidos directamente de la literatura y de otros estudios relacionados. Mediante la simulación, y las variables en estudio, entre ellas; el impacto de los Lead Time, en los costos de setup, en los costos totales, y en el plan de MRP, que se ve reflejado en las cantidades de Stroke y Skus, son resultados del modelo GMOP. La Figura 6, nos muestra de forma muy general, el proceso metodológico de la investigación. Inicialmente se definen 5 factores de entrada, que operan en diferentes niveles, posteriormente en una segunda etapa se describe el proceso de planificación de la producción simulado, con dos características especiales. La primera característica define el ámbito o el horizonte rodante de planificación para,  $t = 52$  periodos, con dos elementos claves en este proceso.

El primero es el periodo de congelamiento, (Sridharan, Berry, & Udayabhanu, 1987) sugieren dos métodos para este parámetro; el primero es un método basado en el periodo, y el segundo método está basado en el número de órdenes. Para este estudio se propone el método basado en el periodo. Se define entonces el periodo de congelamiento,

como ( $P_c = 1$ ). A pesar que el método basado en órdenes tiene mejor comportamiento, que el método basado en el periodo, sin embargo el método basado en ordenes no es ampliamente utilizado por los usuarios del MRP, dado que este método cuando se trabaja con varios elementos y demanda incierta puede generar diferentes periodos de congelación para cada artículo, luego de la replanificación de cada ciclo, generando con ello confusión en el sistema (Sridharan, Berry, & Udayabhanu, 1987). El segundo elemento clave está relacionado con el periodo de replanificación ( $P_r = 8$ ). En esta misma etapa de la simulación, se optimizan las variables de salida del modelo GMOP, entre ellas;

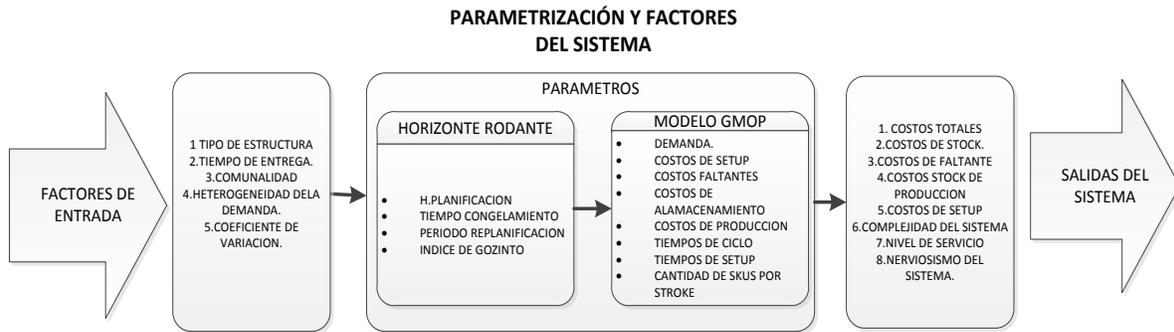
$Z_{kt}$  = Cantidad de strokes  $k$  que empiezan durante el periodo  $t$

$I_{it}$  = Nivel de inventario del SKU  $i$  al final del periodo  $t$

$F$  = Costos totales del Setup.

Según las variables de salida del modelo GMOP, y otros parámetros del mismo modelo, es posible determinar otros resultados que son objeto de estudio en esta investigación, y que se definen en este capítulo, como resultados o variables dependientes del sistema.

Nos enfocaremos en detalle en este capítulo, con los cinco factores de evaluación y los respectivos niveles que se utilizaran en el proceso de simulación. Además de las matrices de operaciones y de parámetros utilizadas por el modelo GMOP, y por último, los resultados de la simulación como se muestran en la Figura-6. Estos resultados de la simulación serán empleados en el diseño experimental, con el propósito de medir el impacto de los Tiempos de Entrega, tema fundamental de esta investigación.



**Figura 6. Parámetros y Factores de la Simulación.**  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2 Datos de la Matriz de Operacion, basados en el modelo GMOP.

La matriz de operacion y recursos es la matriz que asigna a cada Stroke los diferentes recursos que se inmovilizan o se utilizan. Esta matriz se construye en función de una matriz de asignación de recursos a Strokes que se denota como  $R^s$  ( Maheut & Garcia-Sabater, 2011).

Para efectos de la simulación se han considerado 120 problemas por cada replica, por cada problema se han diseñado las respectivas matrices de operaciones, costos y tiempo dependiendo de cada estructura del producto. A modo de ejemplo solo se mostrara la configuración y características de las matrices correspondiente al primer problema. Cada problema, asi como los costos y parametros estan relacionados con los factores de evaluación, por consiguiente los detalles para este primer problema son: Estructura -1, Lead Time Bajo, Sin comunalidad en los materiales, un coeficiente de variación bajo, y la heterogeneidad de la demanda es baja. Las configuraciones y características del resto de problemas, asi como las matrices o parametros de costos, tiempo, y de operaciones para los 120 problemas no se detallan dada la magnitud de los datos, en el anexo 55 se detalla de manera completa los datos y matrices para el problema-1. A continuación se muestran las matrices resumidas para el problema-1, y la estructura-1, los datos y características son los siguientes.

#### 4.1.2.1 Matriz de Demanda por producto.

La demanda de cada producto con replanificación para cada periodo y por cada estructura, donde cada estructura, se conforma por productos finales y sub-productos para ( $i = 50$ ), y el horizonte de planificación se definido para ( $t = 52$ ) periodos. La demanda por producto expresado en (SKUs), durante el periodo  $t$ , se define como  $d_{it}$ .

Tabla 2 Demanda por producto y periodo.

$d_{it}$	1	2	3	4	5		48	49	50	51	52
1	$d_{11}$		$d_{13}$		$d_{15}$			$d_{149}$		$d_{151}$	
2											
3	$d_{31}$										
4						...					
⋮											
49	$d_{491}$										
50						...					

Fuente: Maheut et al, 2011

Los parametros para generación de demanda independiente para los diez productos de cada estructura, se relacionan en la tabla 3. Estos siguen una demanda constante con media igual a 50 unidades. La variabilidad de la demanda esta determinada por el factor coeficiente de variación.

Tabla 3 Parámetros para generación de demanda.

DATOS						
Productos	$a$	$b$	$m$	$\mu_i$		
1	0	0	0	50	0	
2	0	0	0	50	0	
3	0	0	0	50	0	
4	0	0	0	50	0	
5	0	0	0	50	0	
6	0	0	0	50	0	
7	0	0	0	50	0	
8	0	0	0	50	0	
9	0	0	0	50	0	
10	0	0	0	50	0	
.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	
48	0	0	0	0	0	$a =$ Amplitud
49	0	0	0	0	0	$b =$ periodo
50	0	0	0	0	0	$m =$ pendiente
						$\mu_i =$ Media

4.1.2.2 Costo de Almacenamiento de una unidad.

El Costo de almacenamiento por periodo se define como  $H_{it}$ , también para  $i = 50$  productos.

Tabla 4 Costo de Almacenamiento por producto y periodo.

$H_{it}$	1	2	3	4	5	...	48	49	50	51	52
1	$H_{it}$		$H_{it}$		$H_{it}$			$H_{it}$		$H_{it}$	
2											
3	$H_{it}$										
4											
...											
...											
49	$H_{it}$										
50											

Fuente: Maheut et al, 2011

Los parámetros a emplear en el modelo para los costos de *Almacenamiento por unidad* para un periodo se definen en la tabla 4.

Tabla 5 Parámetros Costo de Almacenamiento.

$h_{it} = \text{Costos de Almacenamiento}$

Productos por estructura	$h_{it}$
1	1
2	1
3	1
10	1
.	.
.	.
.	.
48	0,1
49	0,1
50	0,1

4.1.2.3 Tiempo de operación para la ejecución de una unidad de Stroke.

El tiempo de ejecución de cada Stroke ( $k$ ), está determinado por el recurso empleado en cada nivel. Cada estructura puede tener niveles diferentes, pero los recursos aplicados a cada nivel son compartidos por cada Stroke que conforma ese nivel, por cada estructura se asignan ( $k = 50$ ). El cual incluye Stroke de compra y Stroke de operación o producción. El tiempo de operación por cada unidad de Stroke se define como,  $Ot_{kr}$

Tabla 6 **Tiempo de Operación.**

$O_{t_{kr}}$	1	2	3
1	$O_{t_{kr}}$		$O_{t_{kr}}$
2			
3	$O_{t_{kr}}$		
4			
⋮			
49	$O_{t_{kr}}$		
50			

Fuente: Maheut et al, 2011.

En la tabla-6 se relacionan los parámetros a emplear en el modelo para los tiempos de ciclo de cada Stroke de operación. Los tiempos para el Stroke de compra, están definidos como los tiempos de entrega.

Tabla 7 **Tiempo de Operación para cada Stroke.**

$$O_{t_{kr}} = \text{Tiempos de Ciclo}$$

Strokes	Stroke operación	Stroke
	Recurso empleado	Compra
	R1	Pv
1	1	0
2	1	0
3	1	0
4	1	0
9	0	0
10	0	0
.	.	.
.	.	.
.	.	.
49	0	0
50	0	0

#### 4.1.2.4 *Tiempo de Setup del Stroke, k, en el Recurso, r (r = 3).*

Se plantean 3 tipos de recursos y capacidad para ser empleados en la ejecución de cada Stroke de operación. El tiempo de Setup de cada Stroke por recurso se define como

$$St_{kr}.$$

Tabla 8 **Tiempo de Setup.**

$St_{kr}$	1	2	3
1	$St_{kr}$		$St_{kr}$
2			
3	$St_{kr}$		
4			
⋮			
49			
50	$St_{kr}$		

Fuente: Maheut et al, 2011

En la tabla-8 se relacionan los parámetros a emplear en el modelo para los tiempos de Setup de cada Stroke de operación. Los tiempos para el Stroke de compra, están definidos como los tiempos de entrega.

Tabla 9 **Tiempo de Setup.**

$St_{kr}$  = *Tiempos de Setup*

Strokes	Stroke operación	Stroke
	Recurso empleado	Compra
	R1	Pv
1	5	0
2	5	0
3	5	0
4	5	0
10	5	0
.	.	.
.	.	.
.	.	.
49	0	0
50	0	0

4.1.2.5 *Costo de Planificar la ejecución de una unidad de Stroke (k) durante el periodo t.* El Costo de Planificación de cada Stroke por periodo se define como  $P_{kt}$

Tabla 10 **Costo de Planificar un Stroke por periodo.**

$P_{kt}$	1	2	3	4	5		48	49	50	51	52
1	$P_{kt}$		$P_{kt}$					$P_{kt}$		$P_{kt}$	
2											
3	$P_{kt}$										
4						...					
⋮											
49	$P_{kt}$										
50						...					

Los parámetros a emplear en el modelo para los costos de Planificación por Stroke de Producción por periodo se definen en la siguiente tabla-10

Tabla 11 **Costos de Producción.**

$p_{kt}$  = Costos de Producción

Strokes	Stroke operación	Stroke
	Recurso empleado	Compra
	R1	Pv
1	2	0
2	2	0
3	2	0
9	2	0
10	2	0
11	0	0,5
.	.	.
.	.	.
.	.	.
48	0	0,5
49	0	0,5
50	0	0,5

4.1.2.6 Costo de Setup de una unidad de Stroke (k) durante el Periodo(t) .

El Costo de Setup por cada unidad de Stroke en el periodo t, se define como  $F_{kt}$  .

Tabla 12 **Costo de Setup de un Stroke por periodo.**

$F_{kt}$	1	2	3	4	5	...	48	49	50	51	52
1	$F_{kt}$		$F_{kt}$		$F_{kt}$			$F_{kt}$		$F_{kt}$	
2											
3	$F_{kt}$										
4											
⋮											
49	$F_{kt}$										
50											

Fuente: Maheut et al, 2011

Los parámetros a emplear en el modelo para los *Costos de Setup* se definen en la tabla 12

Tabla 13 **Parámetros Costos de Setup.**

$f_{kt}$  = Costos de Setup

Stroke	Stroke operación	Stroke
	Recurso empleado	compra
	1	Pv
1	8000	0
2	8000	0
3	8000	0
9	8000	0
10	8000	0
.	.	.
.	.	.
.	.	.
48	0	1800
49	0	1800
50	0	1800

4.1.2.7 Nivel inicial del inventario de SKUs, para toda  $i$ .

El nivel del inventario para los SKUs de productos finales y SKUs requeridos para ejecutar un Stroke, se define como  $I_i0$ .

Tabla 14 Nivel del Inventario inicial  $I_i0$ .

SKUs	$I_i0$
1	$I_i0$
2	
3	$I_i0$
4	
⋮	
49	$I_i0$
50	

Los parámetros a emplear en el modelo para el *Inventario Inicial* por producto se definen en la tabla-14.

Tabla 15 Parámetros Inventario inicial  $I_i0$ .

$I_{i,0}$  = Nivel inicial del inventario SKUs

Productos	Inv. Inicial
1	150
2	150
3	150
9	150
10	150
11	0
.	.
.	.
.	.
48	0
49	0
50	0

4.1.2.8 Capacidad disponible del recurso ( $r$ ), durante el periodo  $t$ .

La Capacidad disponible del recurso  $r$  durante el periodo  $t$ , se define como  $Cd_r$ .

Tabla 16 Capacidad disponible por recurso.

$Cd_r$	1	2	3	4	5		48	49	50	51	52
1	$Cd_r$		$Cd_r$		$Cd_r$			$Cd_r$		$Cd_r$	
2											
3	$Cd_r$					...					

La capacidad disponible para cada recurso ( $r=2$ ) utilizado para el Stroke de operación (recurso-1) y el Stroke de compra (Pv-2), se definen de acuerdo a los siguientes parámetros.

Tabla 17 Capacidad disponible por recurso.

$K_r = \text{Capacidad del Recurso}$

Recurso	CAP[r]
1	2000
Pv	2000

4.1.2.9 Número de unidades SKUs, como resultado de un Stroke.

Esta matriz, denominada también matriz sparse, identifica el número de unidades de SKUs (productos), que resultan por la ejecución de una unidad de Stroke ( $k$ ). El Número de unidades de SKUs resultante por unidad de Stroke ( $k$ ) se define como  $So_{ik}$ .

Tabla 18 Unidades de SKUS por ejecución del Stroke.

$So_{ik}$	1	2	3	4	5	...	48	49	50
1	$So_{ik}$		$So_{ik}$		$So_{ik}$			$So_{ik}$	
2									
3	$So_{ik}$								
4									
...									
49									
50	$So_{ik}$								

Fuente: Maheut et al, 2011

La matriz sparse, muestra la cantidad de unidades en SKUs requeridas para fabricar una unidad de Stroke. En la Figura 7, se muestra un ejemplo para la estructura -1.

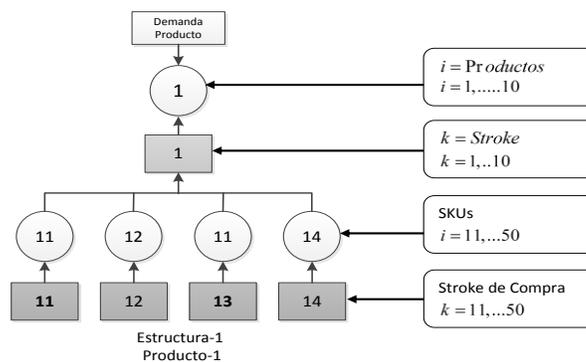


Figura 7. Stroke y SKUs para la estructura-1.

Fuente: Elaboración propia.





Tabla 22 **Lead Time de un Stroke.**

$k$	$Lt_k$
1	$I_i O$
2	
3	$I_i O$
4	
⋮	
49	$I_i O$
50	

Fuente: Maheut et al, 2011

El Tiempo de Entrega como parametro, se han definido para  $LT = 0$ ,  $LT = 1$  y  $LT = 2$  periodos y  $\forall i, t, k$ .

#### 4.1.3 Las estructuras de productos basadas. en Stroke y *SKUs*.

Como se expuso en el literal 3.4,2, las cinco 5 tipo de estructuras basicos, que corresponden a 5 niveles, los cuales deben ser adaptados al concepto de stroke y *SKUs* (Maheut & Garcia-Sabater, 2011). A continuación, se presenta una notación general de las estructura y un esquema para identificar mas claramente el concepto de *SKUs* y Stroke.

Cada estructura esta conformada por productos finales, sub-productos y las correspondientes listas de materiales basadas en el concepto de Stroke, los cuales estan representados en operaciones de producción, compras o transporte y los *SKUs*, estan representados en productos intermedios o sub-productos y productos finales( Maheut & Garcia-Sabater, 2011).

A continuación se estable la notación general para los cinco tipos de estructuras:

$i = Pr oductos$

$j = Compras$

$k = Strokes$

$n = Sub - productos$

$C_j = Stroke de compra (j = 1, \dots, 110)$

$P_n = Sub - productos (n = 1, \dots, 150)$

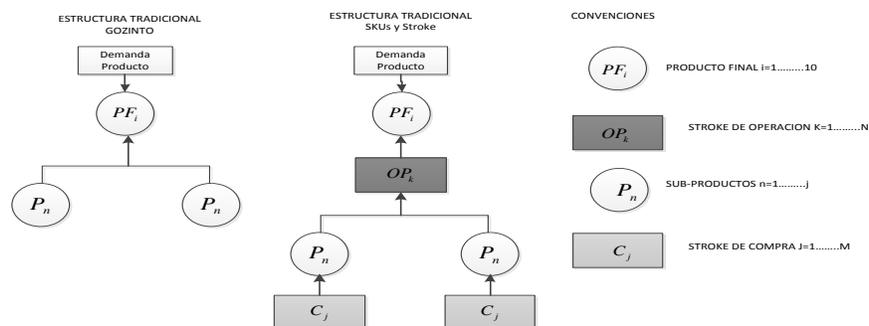
$OP_k = Stroke de operación (k = 1, \dots, 11)$

$PF_i = Pr oducto final (i = 1, \dots, 50)$

La clasificación para cada tipo de estructura y su correspondientes productos finales ( $PF_i$ ), los sub-productos( $P_n$ ), representados en  $SKUs$ , los Strokes de compra ( $C_j$ ), y los Strokes de operación( $OP_k$ ), se detallan en la tabla-3

<i>Estructura –1</i>		<i>Estructura –2</i>	
$C_j = \text{Stroke de compra}$	$j = 11, \dots, 50$	$C_j = \text{Stroke de compra}$	$j = 31, \dots, 50$
$P_n = \text{Sub-productos}$	$n = 11, \dots, 50$	$P_n = \text{Sub-productos}$	$n = 11, \dots, 50$
$OP_k = \text{Stroke de operación}$	$k = 1, \dots, 10$	$OP_k = \text{Stroke de operación}$	$k = 31, \dots, 50$
$PF_i = \text{Producto final}$	$i = 1, \dots, 10$	$PF_i = \text{Producto final}$	$i = 1, \dots, 10$
<i>Estructura –3</i>		<i>Estructura –4</i>	
$C_j = \text{Stroke de compra}$	$j = 31, \dots, 50$	$C_j = \text{Stroke de compra}$	$j = 31, \dots, 50$
$P_n = \text{Sub-productos}$	$n = 11, \dots, 50$	$P_n = \text{Sub-productos}$	$n = 11, \dots, 50$
$OP_k = \text{Stroke de operación}$	$k = 1, \dots, 30$	$OP_k = \text{Stroke de operación}$	$k = 1, \dots, 30$
$PF_i = \text{Producto final}$	$i = 1, \dots, 10$	$PF_i = \text{Producto final}$	$i = 1, \dots, 10$
<i>Estructura –5</i>			
$C_j = \text{Stroke de compra}$	$j = 41, \dots, 50$		
$P_n = \text{Sub-productos}$	$n = 11, \dots, 50$		
$OP_k = \text{Stroke de operación}$	$k = 1, \dots, 40$		
$PF_i = \text{Producto final}$	$i = 1, \dots, 10$		

En el siguiente esquema de dos niveles se aprecia la diferencia entre la tradicional lista de gozinto y el enfoque basado en Stroke y  $SKUs$ .

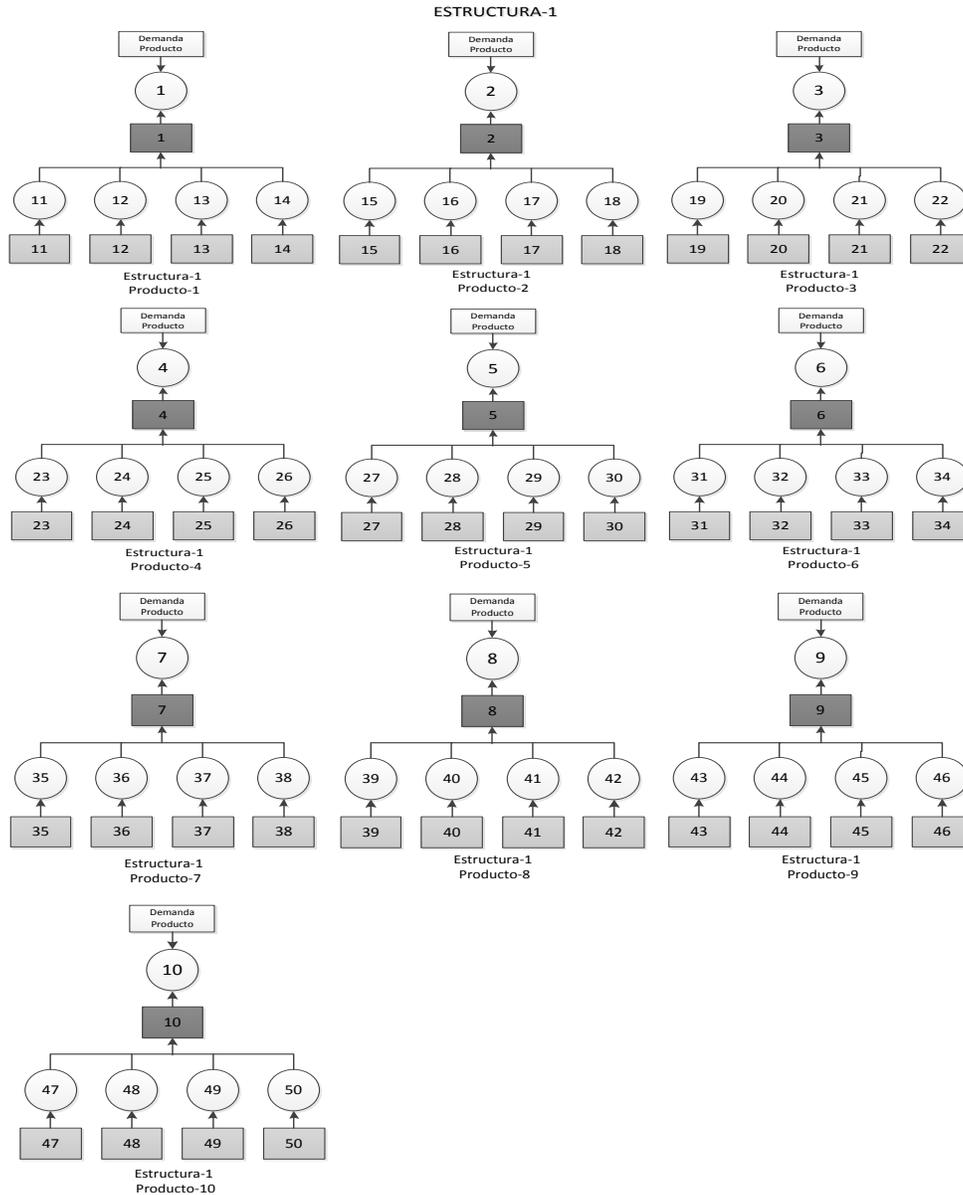


**Figura 8. Planificación de la Simulación.**

Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

Cada estructura estará representado por 10 productos, con lista de materiales independientes o materiales comunes. La lista de materiales para la estructura 1 y los 10 productos correspondientes, según el concepto de Stroke y *SKUs*, se muestra en la figura 9.

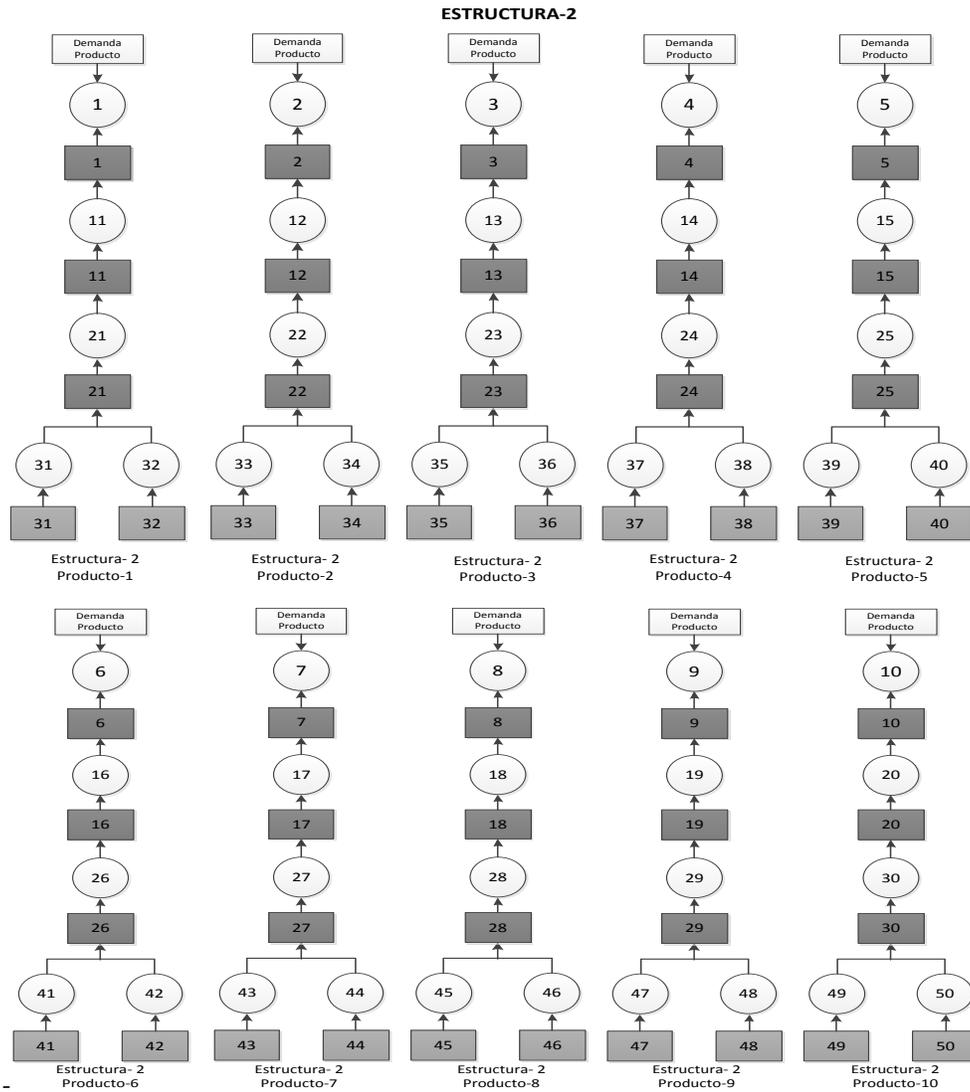
4.1.3.1 Tipo de estructura-1, con 10 productos y lista de materiales.



**Figura 9. Estructura tipo- 1, con diez productos.**  
Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

4.1.3.2 La estructura Tipo-2, con 10 productos y su respectiva lista de materiales.

Se muestra en la Figura 10.

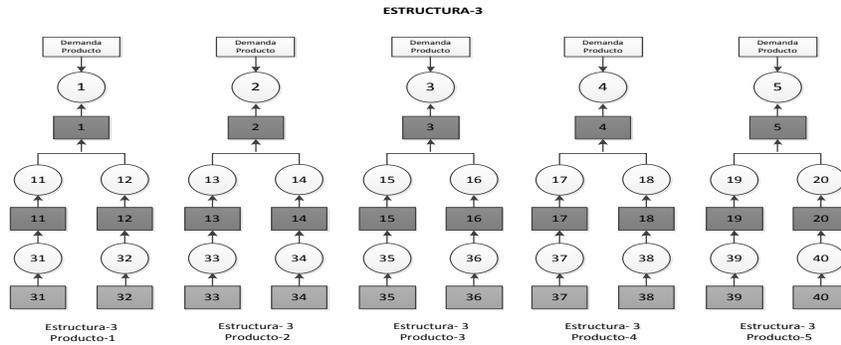


**Figura 10. Estructura tipo-2, con diez productos.**

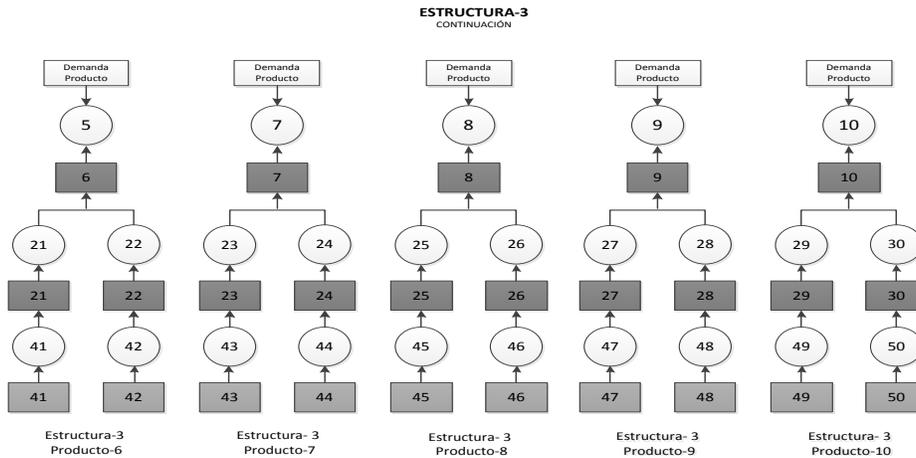
Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

4.1.3.3 Tipo de estructura-3, con 10 productos y su respectiva lista de materiales.

se muestra en la Figura 11 , y Figura 12



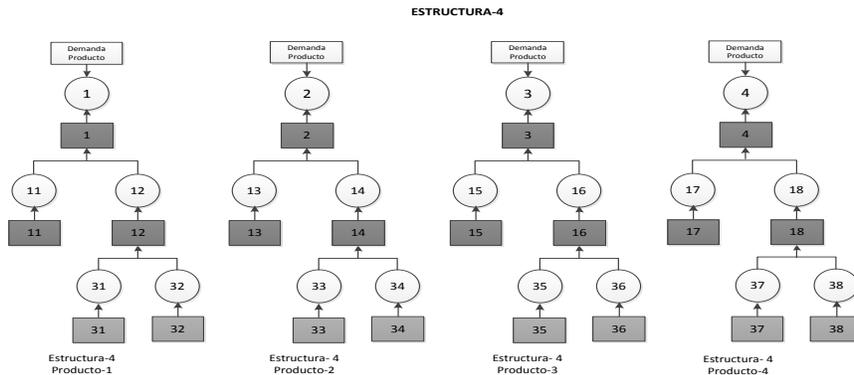
**Figura 11. Estructura tipo-3, con diez productos.**  
 Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).



**Figura 12. Estructura tipo-3, con diez productos.**  
 Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

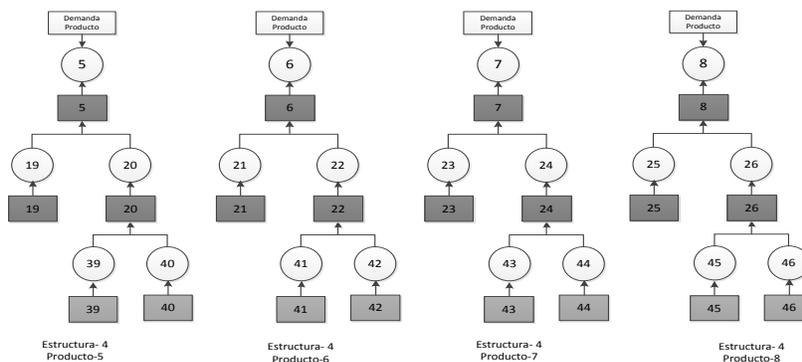
*4.1.3.4 Tipo de estructura-4, con 10 productos y su respectiva lista de materiales.*

Se muestra en la Figura 13, 14, 15.



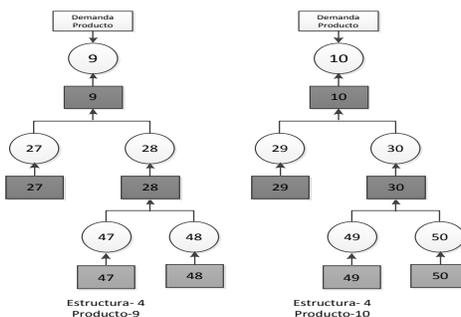
**Figura 13. Estructura tipo-3, con diez productos.**  
 Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

CONTINUACIÓN ESTRUCTURA-4



**Figura 14. Estructura tipo- 3, con diez productos.**  
Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

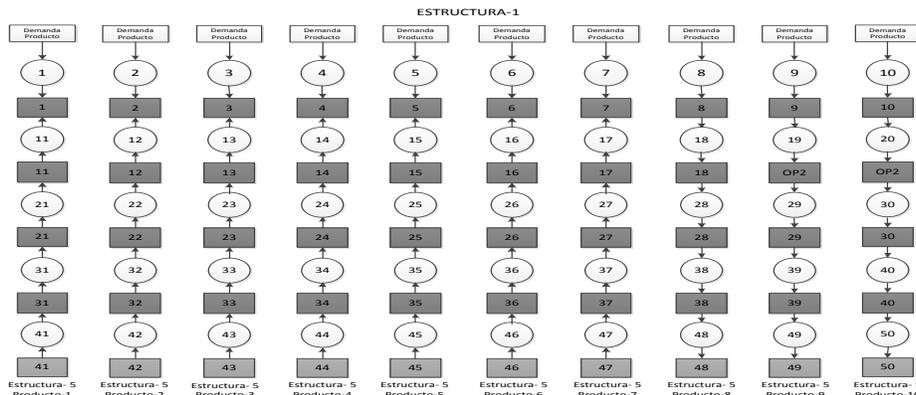
ESTRUCTURA-4



**Figura 15. Estructura tipo- 4, con diez productos.**  
Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

4.1.3.5 Tipo de estructura-5, con 10 productos y su respectiva lista de materiales.

Se muestra en la Figura 16.



**Figura 16. Estructura tipo- 5, con diez productos.**  
Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

## 4.2 Sistema de Planificación de la Cadena de Suministro

Como se expresó en la identificación del problema, el presente estudio, se enfoca principalmente en medir y describir el impacto de la complejidad de los *Tiempos de Entrega* en una cadena de suministro, desde el punto de vista del proveedor. Expresamos también algunas consideraciones bajo las cuales se realiza la investigación mediante eventos simulados. La primera consideración es la incertidumbre de la demanda, mediante la variabilidad del coeficiente de variación. La segunda consideración es el enfoque de las matrices de operaciones y materiales considerando el concepto de Stroke y Skus, y el empleo del modelo GMOP. Mediante este modelo es posible controlar algunos parámetros del sistema MRP, entre ellos, el enfoque de capacidad finita, para los recursos del sistema, los parámetros de costos y los parámetros de tiempos como se encuentra establecido en el modelo. Bajo estas consideraciones, se determinan para la fase I los factores de entrada, que se someten a un proceso de simulación desde varios niveles de operación con el propósito de optimizar y estudiar el comportamiento de las variables de salida. De tal forma que esta información nos arroje elementos para el estudio, evaluación y conclusiones del comportamiento del Lead Time en un ambiente simulado y bajo unas características muy específicas. Sin duda estos resultados confirmarían las hipótesis planteadas y orientarían el proceso para la toma de decisiones, y a reevaluar la correcta parametrización de una cadena de suministro.

Para el proceso de preparación y planificación de la producción, se considera que el plan de producción se programa en un horizonte rodante, con  $t = 52$  periodos, se establecen los periodos de replanificación y congelamiento, y el empleo del modelo de optimización GMOP, con algunas variantes en el plan de requerimientos de materiales MRP, que pasan de la tradicional estructura de Gozinto, a las matrices de operaciones y materiales. Por otro lado del concepto de productos y operaciones se trabaja con el concepto de Stroke y SKUs. Adicionalmente en esta misma fase, se estudia el comportamiento y la variabilidad de la demanda y de su impacto en el comportamiento del sistema cuando se opera en un ambiente con incertidumbre.

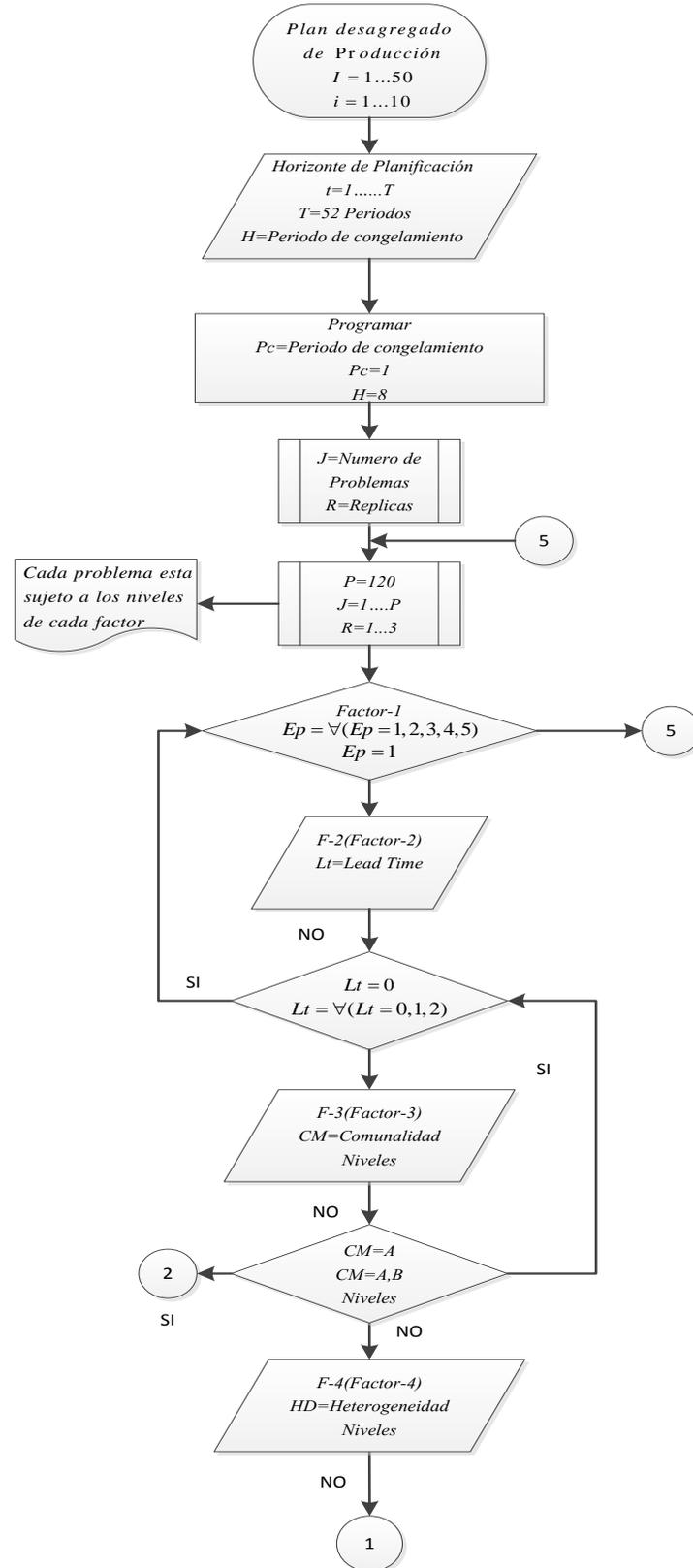
En esta fase, se ejecuta el proceso de simulación para cada uno de los factores con sus respectivos niveles, con el fin de obtener los resultados para las variables de salida que son objeto de estudio en esta investigación. Para conseguir los resultados de la simulación, se corre un generador de escenarios en java, empleando el modelo matemático GMOP, y el optimizador Gurobi, con los respectivos parámetros, y matrices de operaciones para cada problema o instancia. Las instancias a correr y el número de repeticiones por cada problema dependerán del diseño experimental y de las interacciones en estudio.

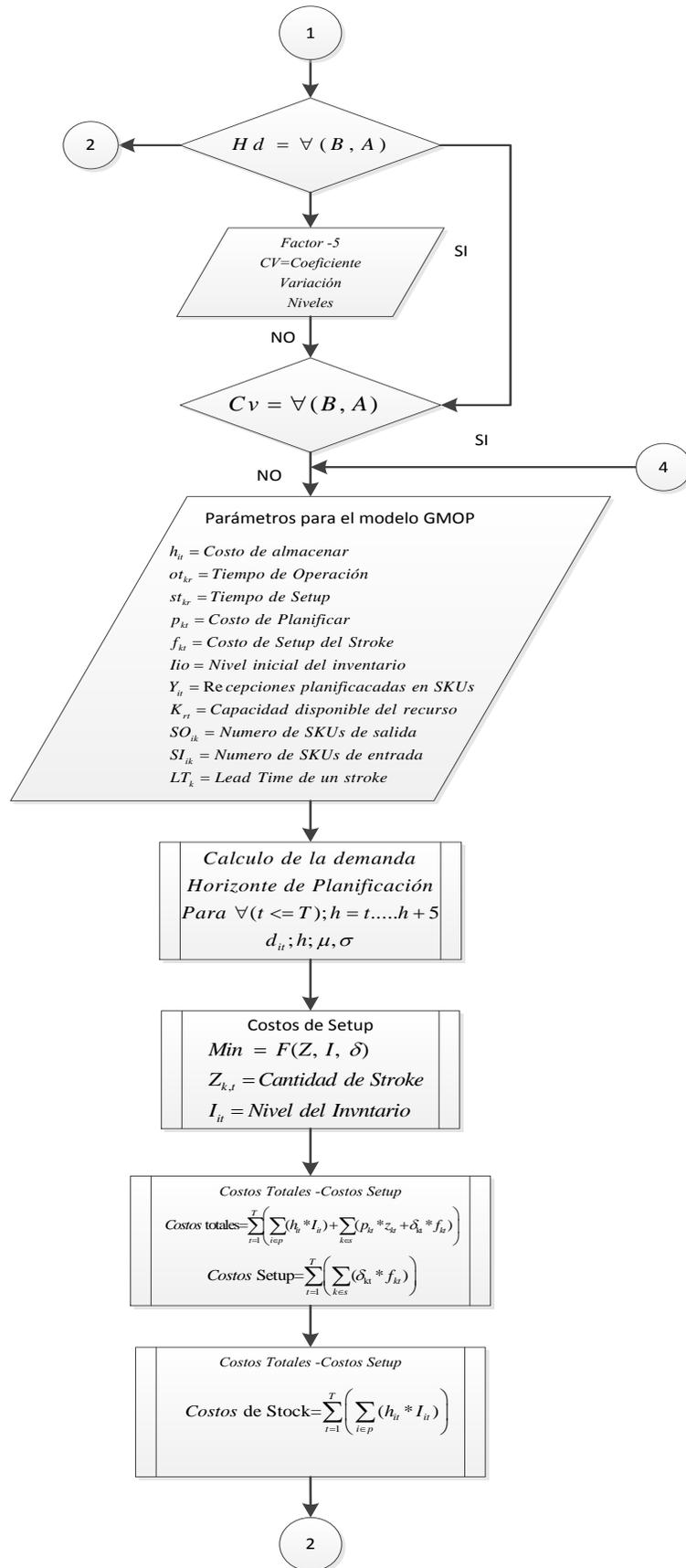
#### **4.2.1 Metodología general de la simulación para determinar el impacto del LT.**

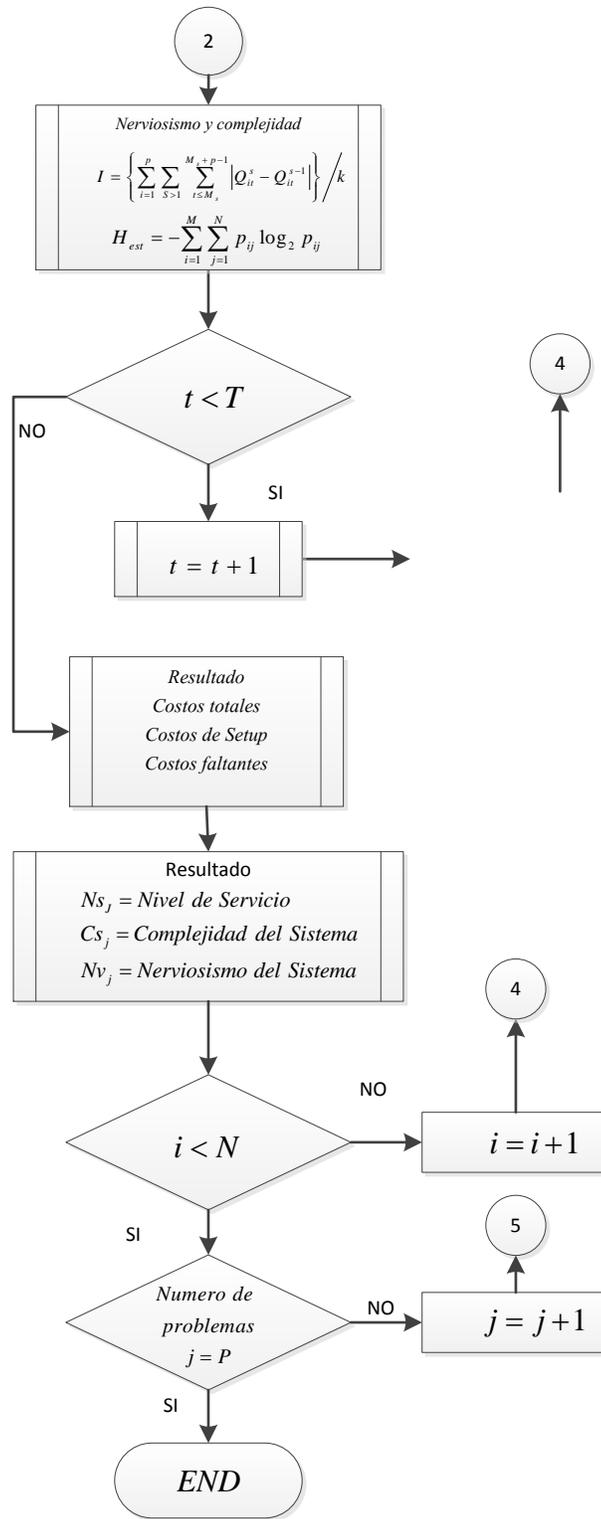
En la Figura 17 y Figura 18 se muestra un esquema general del proceso metodológico mediante el cual se efectuara la simulación que evalúa el impacto del Lead Time para una cadena de suministro.

Se parte entonces de un plan desagregado de producción por producto, y para los cuales se trabaja con diferentes tipos de demanda. La siguiente etapa es la planificación de la producción multinivel en horizonte rodante de los productos finales y de los MRP optimizados, detallados en SKUs y Stroke. Para hacer posible la planificación en horizonte rodante, de  $t = 52$  periodos, se deben tener en cuenta, el periodo de congelamiento, para este caso  $T_c = 1$ , y el periodo para replanificación  $h = 8$ . El proceso inicia para el periodo-1, con  $h = 8$  periodos, en ella se especifican los parámetros de los factores de entrada y el nivel respectivo de cada factor que se trabajara en cada problema.

ALGORITMO PARA ESTABLECER EL PLAN DE PRODUCCIÓN MULTINIVEL OPTIMIZADO EN HORIZONTE RODANTE, Y ESTUDIAR EL IMPACTO DEL LEAD TIME EN UNA CADENA DE SUMINISTRO







**Figura 17. Modelo en horizonte rodante, optimizado basado en el modelo GMOP.**  
Fuente: Elaboración propia.

En la etapa-2, se congela el periodo  $t=1$ , y se actualiza el  $h$  para ocho periodos más y nuevamente se recalcula el MRP optimizado, el algoritmo se detiene para el problema-1, cuando  $t = 52$  periodos.

*Notación*

$I$  = Productos totales

$i$  = Productos por estructura

$T$  = Horizonte de planificación

$t$  = Periodos de planificación

$h$  = Periodos de replanificación

$P_c$  = Periodos de congelamiento

$J$  = Numero de problemas

$E_p$  = Estructuras del producto

$L_t$  = Lead Time proveedor

$T_d$  = Tipo de demanda

$I_d$  = Incertidumbre de la demanda

$H_d$  = Heterogeneidad de la demanda

$C_v$  = Coeficiente de variación

$K$  = Numero de Stroke por estructura

$d_{it}$  = Demanda por producto en cada periodo

$CT_{it}$  = Costos totales por producto

$CF_{it}$  = Costos de faltantes por producto

$N_s$  = Nivel de servicio

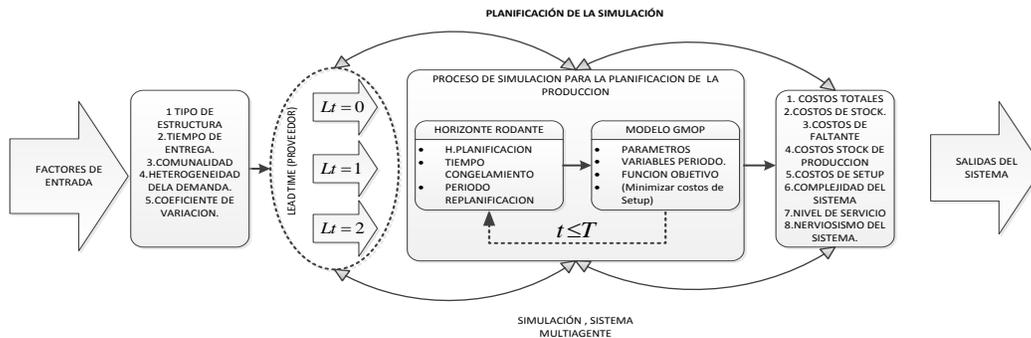
$C_s$  = Complejidad del sistema

$N_v$  = Nerviosismo del sistema

#### **4.2.2 Supuestos experimentales comunes a todos los problemas.**

Adicionalmente la presente investigación se enfocará principalmente en los niveles tácticos y operacionales, considerando que en el modelo matemático a utilizar GMOP (Generic Materials & Operations Planning) a mediano plazo para el proceso de aprovisionamiento, involucra el tipo de recurso a emplear, y a corto plazo, el pedido de materiales con las recepciones programadas. En el proceso de producción, con un horizonte a mediano plazo, se determina el plan maestro de producción (MPS), las recepciones programadas y proveedores con diferentes tiempos de entrega (Lead Time). Los productos, están representados en unidades *SKUs*. Los recursos, representados en máquinas y mano de obra, y los diferentes sub-ensambles o tamaños de lotes, están representados en Stroke-

input y Stroke- output, además los productos finales, dependen de la estructura del producto o niveles de fabricación. En el proceso de producción con un horizonte a corto plazo, se cuantifican los niveles de inventario para los SKUs y los diferentes Stroke.



**Figura 18. Factores de entrada y resultados de la Simulación.**  
Fuente: Elaboración propia.

Además el modelo de optimización (GMOP) emplea algunas particularidades que lo diferencian de la tradicional lista de materiales o lista de Gozinto, estas características diferenciadoras resaltan su importancia, además de los resultados multi-objetivos que en concordancia con otros parámetros en estudio, lo convierten en una herramienta que proporciona insumos para la toma de decisiones en una cadena de suministro. Entre estas características el modelo básico GMOP presenta la variante de flexibilidad en las operaciones al considerar diferentes estructuras, o diferentes rutas de proceso. Este concepto está basado en el estudio de los sistemas de manufactura celular (CMS) efectuado por (Hachicha, Masmoudi, & Haddar, 2008). De acuerdo a ello la manufactura celular tiene dos categorías, para la primera categoría existe una sola ruta de proceso o enrutamiento, posibilidad para cada parte. Para la segunda categoría tiene en cuenta la flexibilidad en los procesos, o la presencia de múltiples rutas para producir un mismo conjunto de productos (alternative routing), y de esta forma poder cambiar una secuencia o lista de Boom, ya preestablecida. Hachicha et al. (2008)

Según este esquema, debe ser capaz de producir nuevos productos con coste de lanzamientos bajos, apoyados además en el concepto de Stroke, y en remplazo a la tradicional lista de Gozinto, como se expuso anteriormente.

Los datos de entrada para efectuar las simulaciones en el modelo, son tomados directamente de investigaciones previas y casos de estudios de la literatura, entre ellos podemos resaltar; (Xie, Zhao, & Lee, 2003), EL cual propone, los parámetros del horizonte rodante, el periodo de congelamiento, el ciclo de planificación y los costos de setup. (Zhao & Lee, 1996), y (Prasad & Krishnaiah, 2001), complementan los parámetros para los costos de setup también utilizados para generar los respectivos escenarios. Ahora teniendo en cuenta las estructuras de productos, estas muestran diversas etapas de una cadena de suministro y están basada en los trabajos de (Blackburn & Millen, 1982; Zhao & Xie, 1998). Los datos de los costes de almacenamiento, setup, stroke (Producción, compra o transporte), y el factor Gozinto que se presentan en la Tabla 23 son una adaptación de los valores de los trabajo de (Krishnaiah Chetty & Prasad, 2001; Zhao & Xie, 1998). Estas adaptaciones se hicieron en la tesis doctoral de (Coronado-Hernández, 2015).

**Tabla 23 Costos del Modelo.**

<b>Etapas</b>	<b>Costo de Almacenamiento</b>	<b>Costo de Setup</b>	<b>Costos de Stroke</b>	<b>Factor Gozinto</b>
1	1	8000	2	-
2	0,1	4000	1	1
3	1	18000	5	1
4	2	4000	1	1
5	0,1	1800	0,5	1

Nota: El coste de faltante/retraso para todos los componentes es 2300.

Se consideran procesos que tienen M etapas o partes, numeradas del 1 al M; la etapa 1 es el producto final . Como se observa en la Figura 18. Así por ejemplo, la estructura P1 muestra una cadena de suministro de dos niveles; en el primer nivel se genera un producto final a partir de un Stroke de fabricación que consume cuatro componentes; los componentes del último nivel son comprados, es decir son generados por un Stroke de compra.

Para cada etapa de la cadena de suministro hay un recurso productivo por nivel de profundidad y las operaciones consumen capacidad del recurso en su nivel correspondiente

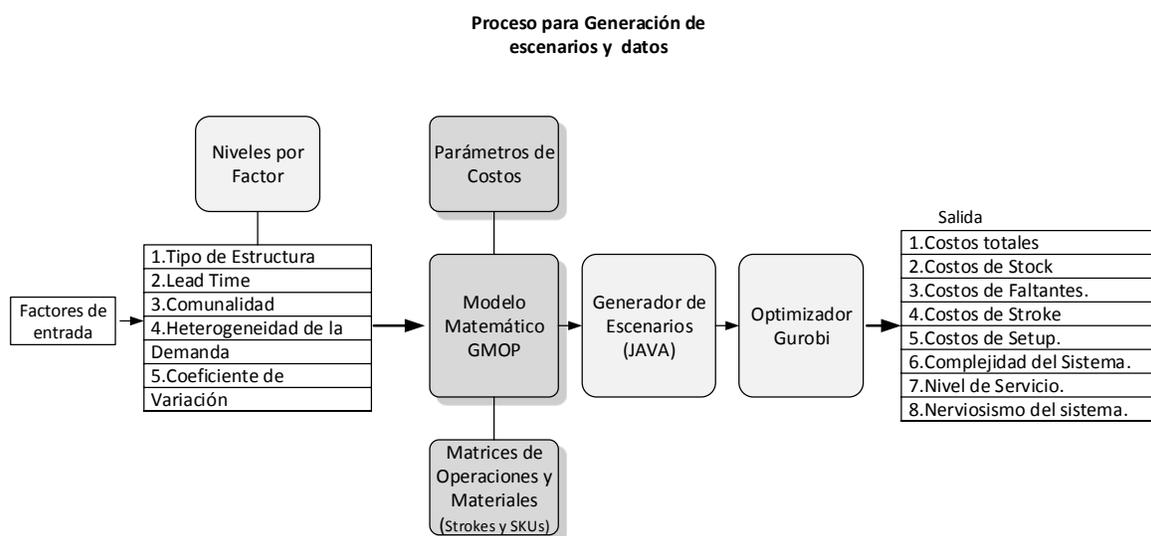
como se muestra en la Tabla 24. El ultimo nivel de las estructura se supone que son operaciones de compra.

**Tabla 24 Nivel de cada recurso.**

Recurso	R1	R2	R3	R4
Tiempo de Stroke por unidad	1	1	1	1
Tiempo de Preparación	5	5	5	5
Capacidad en Tiempo	2000	2000	2000	2000

Nota: solo hay como máximo 4 recursos porque el último nivel siempre es compra.

Los datos de demanda para cada producto se determinarán basados en los patrones utilizados por (Omar & Bennell, 2009). En la siguiente figura se puede apreciar la metodología para generar los escenarios y los resultados, al aplicar el modelo GMOP, en cada ciclo de planificación del horizonte rodante. Ver figura 19



**Figura 19 Generación de Escenarios**

Mediante estos parámetros es posible generar los escenarios y los resultados para su posterior análisis según el diseño experimental, y la interpretación de la de los Lead Time y su impacto, un esquema grafico del aspecto metodológico se presenta en la Figura 20.

### 4.3 Estudio de los Factores

Se han considerado cinco factores principales que de alguna forma afectan el desempeño del sistema e interactúan con la variable principal Lead Time, los factores que se han tenido en cuenta para esta investigación son los siguientes; Estructura del producto, Lead Time, Comunalidad, la Heterogeneidad de la Demanda y el Coeficiente de variación, de la demanda.



**Figura 20. Aspecto metodológico de la investigación.**

Fuente: Elaboración propia.

### 4.4 Estudio de los Factores

Se han considerado cinco factores principales que de alguna forma afectan el desempeño del sistema e interactúan con la variable principal Lead Time, los factores que se han tenido en cuenta para esta investigación son los siguientes; Estructura del producto, Lead Time, Comunalidad, la Heterogeneidad de la Demanda y el Coeficiente de variación, de la demanda.

#### 4.4.1 Factor estructura del producto.

Descrito ampliamente en el numeral 3.1.4, conformada por cinco niveles, correspondiente a 5 estructuras básicas, La estructura-1, hace referencia a la estructura pura de ensamble, la estructura 5, se refiere a una estructura pura de procesos (Prasad & Krishnaiah, 2001) y un nivel de representado por la combinación de las estructuras puras. Las cinco estructuras de los productos, se refieren a la explosión del producto para determinar el plan de requerimientos de materiales, basados en el concepto de Stroke y *SKUs*. En la tabla 23 se resume, el factor Estructura del Producto con sus respectivos niveles.

Tabla 25 Estructura del producto y sus niveles.

<i>Estructura del producto</i>			
Tipo de Estructura	Código	Nivel	Valores
<i>Estructura-1</i>	<i>ES-1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>Estructura-2</i>	<i>ES-2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>
<i>Estructura-3</i>	<i>ES-3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
<i>Estructura-4</i>	<i>ES-4</i>	<i>4</i>	<i>4</i>
<i>Estructura-5</i>	<i>ES-5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>

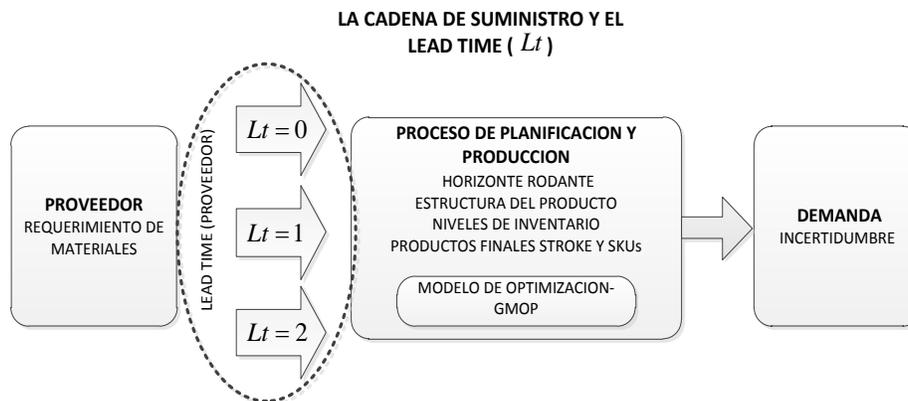
#### 4.4.2 Factor lead Time.

Como se ha expresado a lo largo de este trabajo el objetivo fundamental de esta investigación es estudiar y analizar el impacto del LEAD TIME en una cadena de suministro, que sujeta a algunas consideraciones, e involucrando una serie de factores que por su comportamiento y el nivel de operación, es posible medir el desempeño y comportamiento de todo el sistema.

Retomando alguna de las apreciaciones formuadas por (Kamal & Hafar, 2010), 2010), el cual establece que “El tiempo de Entrega (LT) se convierte en un factor que no se puede separar al momento de gestionar la cadena de suministro, y como factor inseparable, también presenta un grado de incertidumbre dentro de la cadena de la SC. Esta

incertidumbre se asocia principalmente a “las políticas de suministro de pedidos, a los niveles de inventario y al nivel de disponibilidad del producto”.

Como se observa, la incertidumbre del Lead Time en el suministro de pedidos no solo afecta los niveles de inventario de los materiales, si no que afecta además la disponibilidad del producto final, con las consecuencias que esto genera en el plan de producción. Dentro del propósito de esta investigación, como se ha expresado anteriormente, y además de la complejidad inherente del Lead Time ( $Lt$ ), este factor presenta también incertidumbre en el suministro de pedidos por parte de proveedores. Nos enfrentamos entonces al efecto Bullwhip, cuando corriente abajo un factor, que por su incertidumbre afecta y desestabiliza a todo el sistema corriente arriba. En la Figura 20 se muestran los diferentes niveles para el  $Lt$ , y su afectación aguas arriba



**Figura 21. La cadena de suministro y el LEAD TIME.**  
Fuente: Elaboración propia.

Esta incertidumbre, nos conduce al estudio de tres niveles para este factor. El primer nivel el,  $Lt = 0$ , se considera que las entrega se efectuan de manera instantenea o justo a tiempo. En el segundo nivel el  $Lt = 1$  periodos, y el tercer nivel,  $Lt = 2$  periodos. En la tabla 24, se resume el factor Lead time con sus respectivos niveles. Ver tabla 24

Tabla 26 **Lead Time** y sus niveles.

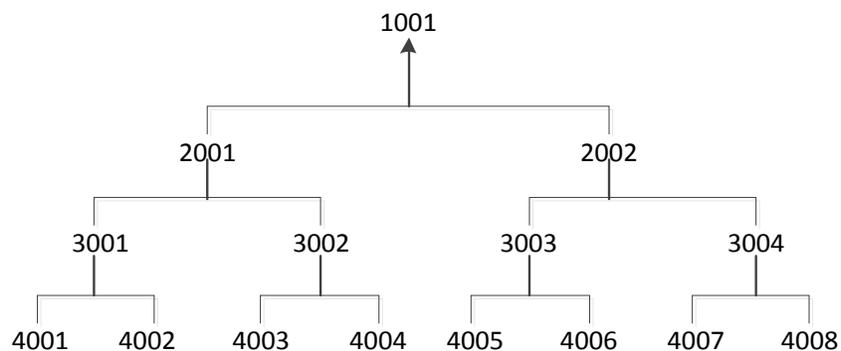
<b>LEAD TIME</b>			
<i>Variación del Lead Time</i>	Código	Nivel	Valores
<i>Lead Time-Bajo</i>	<i>LT-B</i>	<i>Bajo</i>	<i>0</i>

<i>Lead Time-Medio</i>	<i>LT-M</i>	<i>Medio</i>	<i>1</i>
<i>Lead Time-Alto</i>	<i>LT-A</i>	<i>Alto</i>	<i>2</i>

#### 4.4.3 Comunalidad.

El factor de comunalidad ha sido ampliamente estudiado como se resalta en la literatura revisada, investigadores como (Zhoua & Grubbstrom, 2003), establecen que son características comunes, cuando se utiliza el mismo tipo de componentes en una estructura o lista de materiales y por lo general se encuentra en la industria manufacturera. Se considera además que el uso de componentes comunes puede reducir el nivel de inventario, además de disminuir el tiempo de respuesta del mercado, disminuir los tiempos de preparación y por consiguiente aumentar la productividad y mejorar la flexibilidad (Zhoua & Grubbstrom, 2003). Por otro lado la homogeneidad de componentes, según (Mohebbi & Choobineh , 2004), “Interactúa significativamente con la existencia de la demanda, las incertidumbres de la cadena de suministro, y los beneficios de componentes comunes son más pronunciados cuando existen las incertidumbres”. Por otro lado al aumentar la variedad de los componentes, y de los tiempos de entrega es posible que se incremente la escasez de componentes. Esta escasez a menudo resulta en pérdidas de capacidad de producción, y en la pérdida del nivel servicio hacia los clientes por la falta de entrega de productos a tiempo. (Mohebbi et al., 2004). Se refleja entonces la relación e importancia entre el tiempo de entrega variable, y el factor de comunalidad. Cabe señalar que bajo el concepto de comunalidad, se reducen costos, el numero de componentes variados puede utilizarse para fabricar una amplia gama de productos, lo que puede conducir a mejorar la productividad, producto de la economía de escala. (Mohebbi et al, 2004).

Panel A: No Commonality

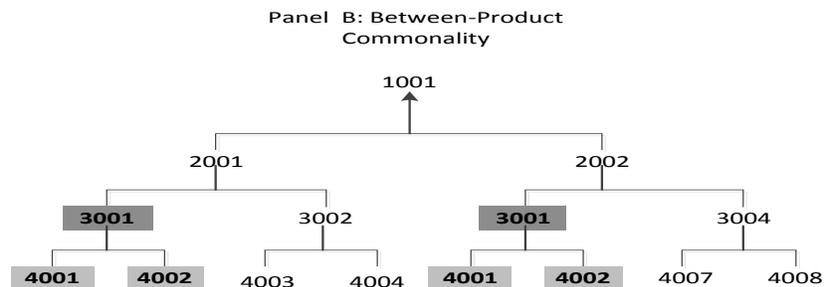


**Figura 22. Estructura de producto tradicional sin comunalidad.**

Fuente: Vakharia , Parmenter, & Susan, ( 1995).

En ese mismo sentido (Zhoua et al, 2003) manifiesta que el costo de producción puede ser mayor debido a una gran variedad de componentes, y de funciones, sin embargo es importante buscar un equilibrio entre las ventajas y desventajas por la coincidencia de los componentes. (Vakharia , Parmenter , & Susan , 1995), tambien investigan y analizan el impacto en una empresa de fabricación que trabaja con un sistema MRP, cuando se opera con y sin comunalidad. Ver figura 21

Es por ello que (Vakharia et al, 1995), experimenta con un factor de variabilidad de la demanda para analizar el impacto de la comunalidad con dos niveles; alta comunalidad y baja comunalidad. Ver Figura 22

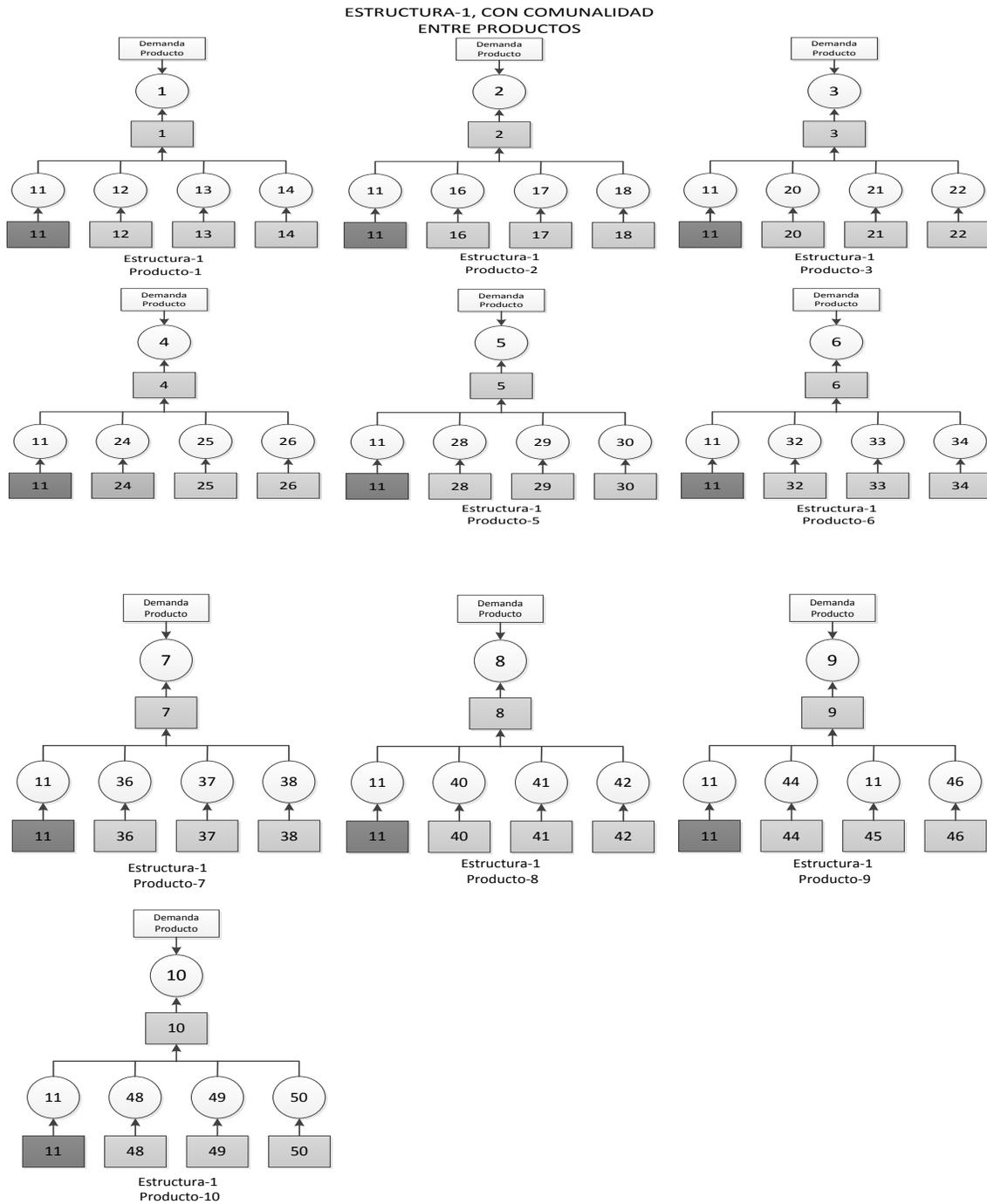


**Figura 23. Estructura de producto tradicional con comunalidad.**

Fuente: Vakharia , Parmenter, & Susan, ( 1995).

Cada estructura estara representado por 10 productos, con lista de materiales comunes. La lista de materiales para la estructura-1 y los 10 productos correspondientes, segun el concepto de Stroke y SKUs, se muestra en la Figura 23.

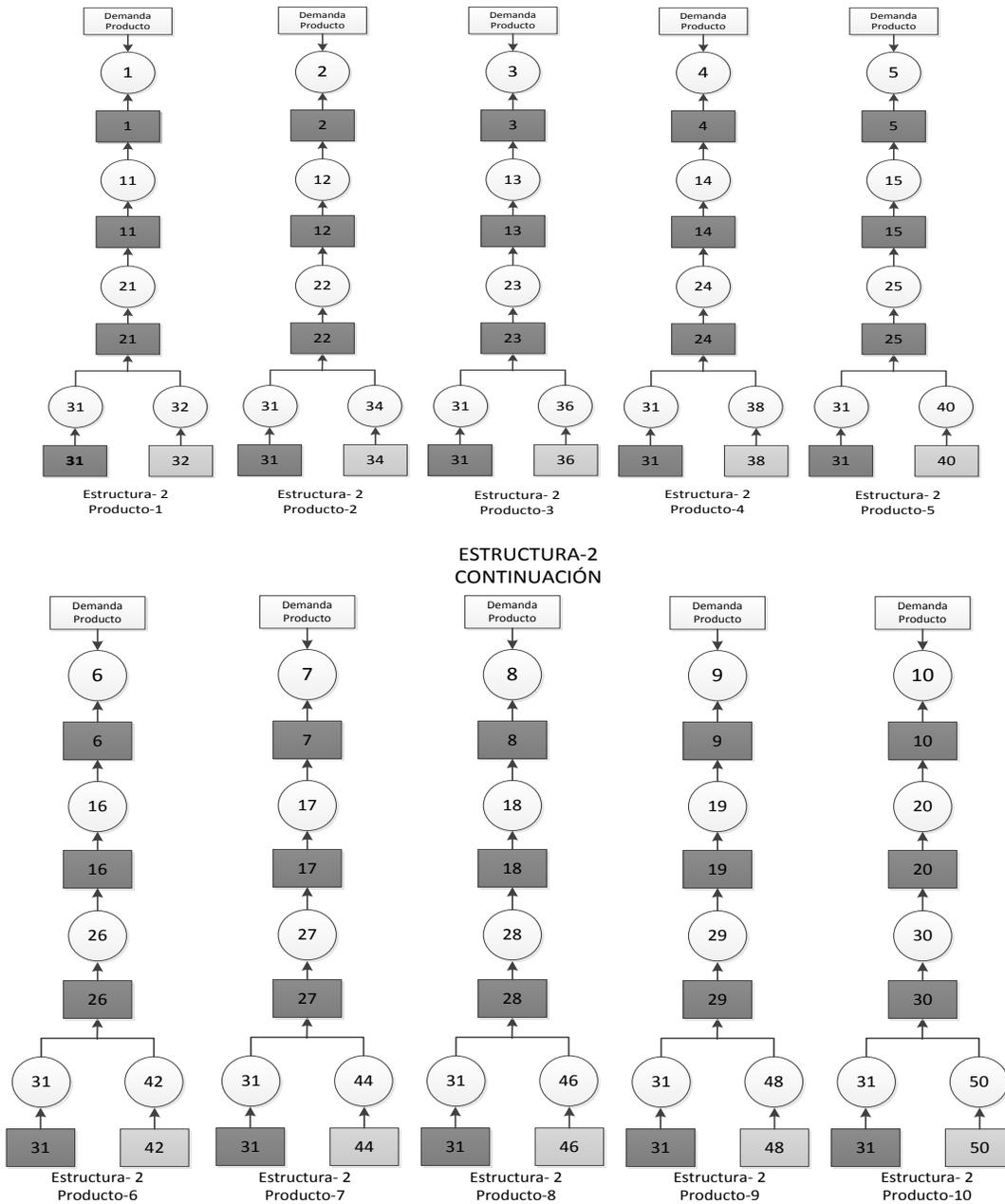
#### 4.4.3.1 Tipo de estructura-1, con 10 productos y lista de materiales con comunalidad.



**Figura 24. Estructura tipo- 1, con diez productos y comunalidad.**

Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

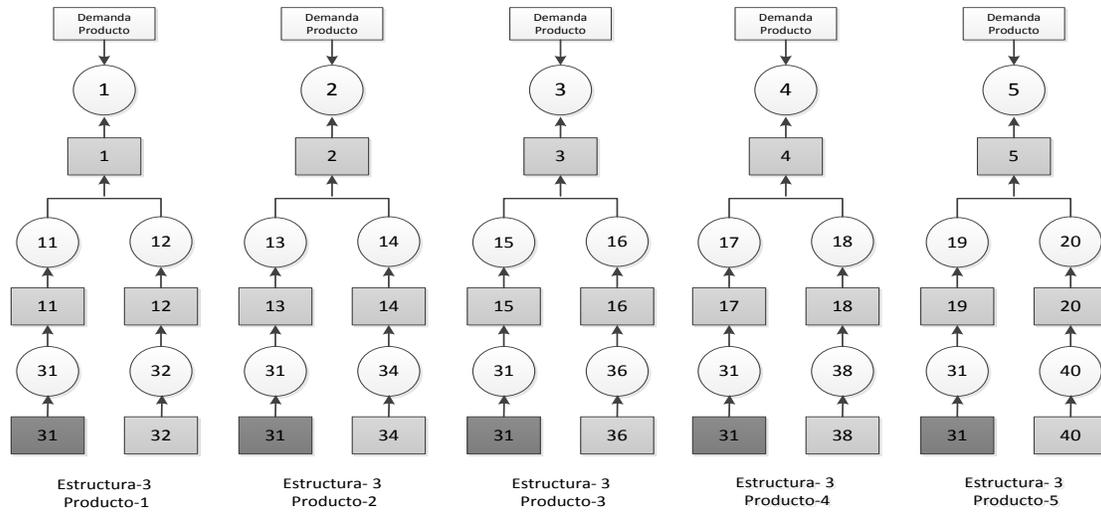
4.4.3.2 *La estructura Tipo-2, con comunalidad para 10 productos y su respectiva lista de materiales. Se muestra en la Figura 24.*



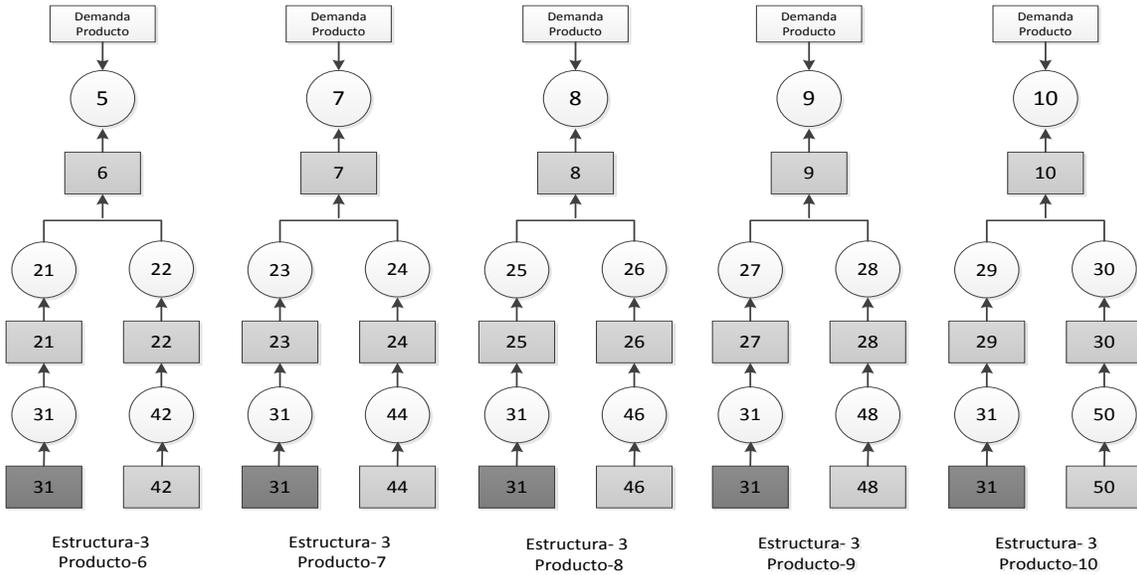
**Figura 25. Estructura tipo- 2, con diez productos y comunalidad.**

Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

4.4.3.3 *Tipo de estructura-3, con comunalidad para 10 productos y su respectiva lista de materiales.* Se muestra en la Figura 25.

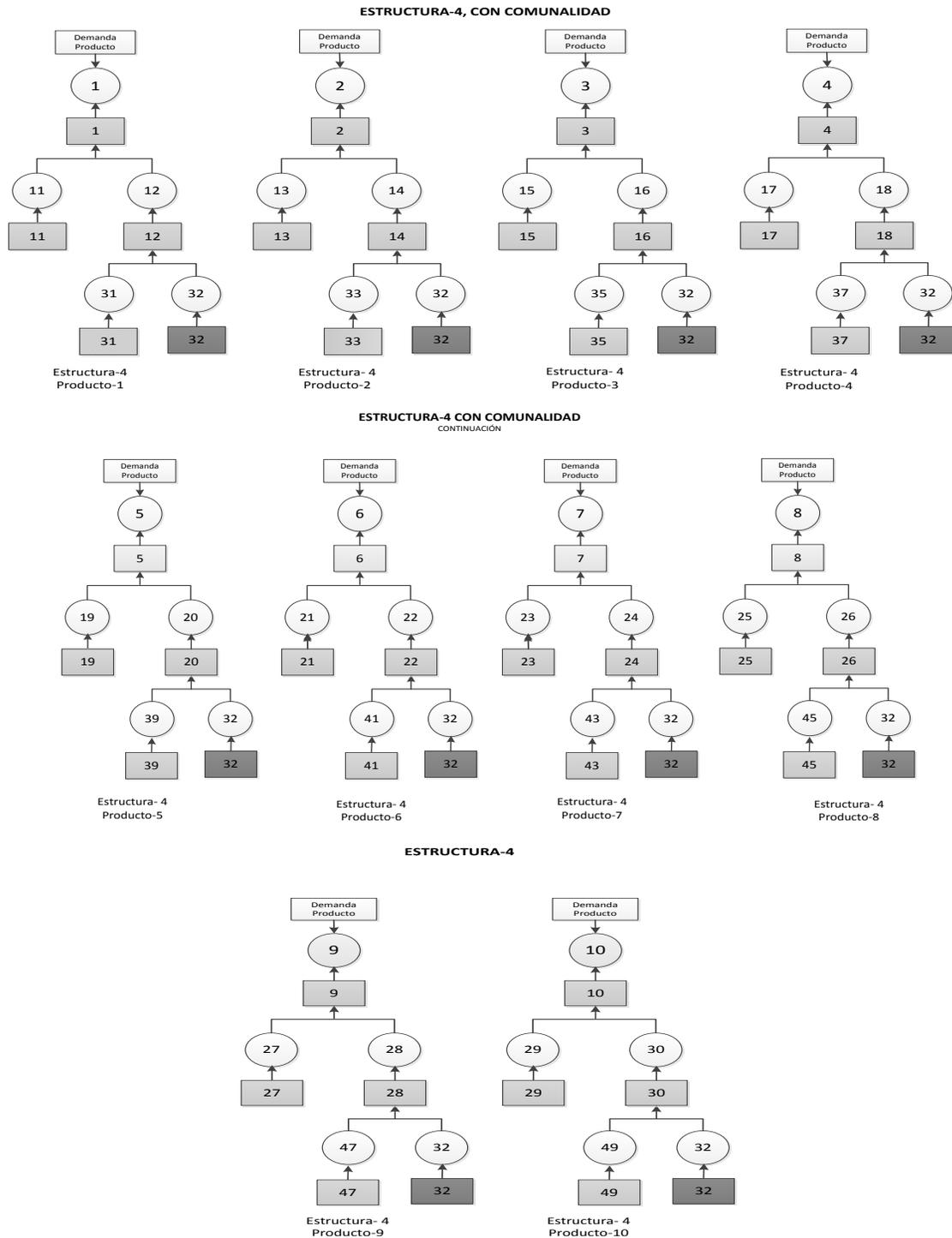


**ESTRUCTURA-3 CON COMUNALIDAD**  
CONTINUACIÓN



**Figura 26. Estructura tipo- 3, con diez productos y comunalidad.**  
Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

4.4.3.4 Tipo de estructura-4, con comunalidad para 10 productos y su respectiva lista de materiales, se muestra en la Figura 26.

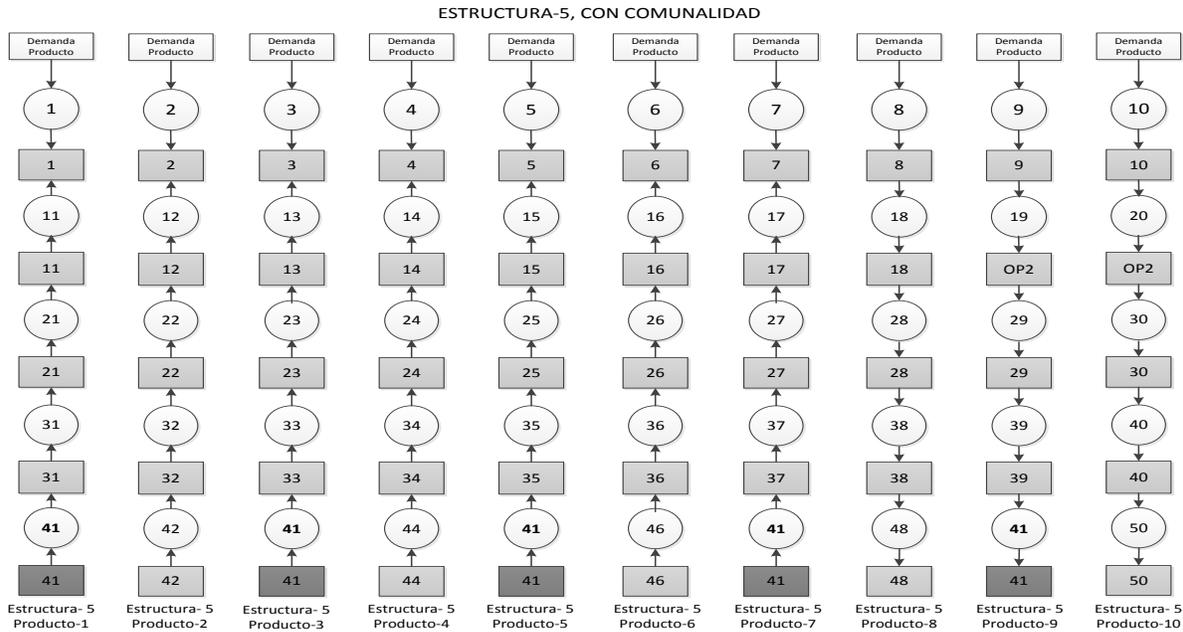


**Figura 27. Estructura tipo- 4, con diez productos y comunalidad.**  
Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

4.4.3.5 *Tipo de estructura-5, con comunalidad para 10 productos y su respectiva lista de materiales. Se muestra en la Figura 27.*

#### 4.4.4 Heterogeneidad de la Demanda.

La heterogeneidad de la demanda está basada como medida, en el coeficiente de Gini, el cual normalmente se utiliza para medir la desigualdad en los ingresos pero puede usarse además para tratar cualquier distribución que tenga un comportamiento desigual. Tabla 25.



**Figura 28. Estructura tipo- 4, con diez productos y comunalidad**  
Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011)

**Tabla 27 Heterogeneidad de la Demanda.**

<i>Heterogeneidad de la demanda</i>			
<i>Tipo de Heterogeneidad</i>	<i>Código</i>	<i>Nivel</i>	<i>Valores</i>
<i>Heterogeneidad Baja</i>	<i>HD-B</i>	<i>BAJO</i>	<i>0</i>
<i>Heterogeneidad Alta</i>	<i>HD-A</i>	<i>ALTO</i>	<i>88,5%</i>

#### 4.4.5 Coeficiente de variación de la demanda.

A través de este factor se desea medir el impacto que sobre los costos totales, los costos de Setup los costos del inventario y los costos de producción, tiene, la variabilidad de la demanda y el tiempo de entrega. Esta variabilidad se puede expresar por cambio en el coeficiente de variación (*CV*), primero cuando la demanda no presenta variación, para este

caso  $CV$  es igual a cero, y segundo cuando la demanda presenta alta variabilidad, determinado con un coeficiente  $CV$  del 50%. Ahora bien, si el valor esperado de la media ( $\mu$ ), y la desviación estándar ( $\sigma$ ), es una variable aleatoria  $X_i$ , entonces el coeficiente de variación ( $CV$ ), se define mediante  $CV = \frac{\sigma}{\mu}$ , donde  $\mu > 0$ . Igualmente se puede expresar

el  $CV$  en términos porcentuales:  $CV = \frac{\sigma}{\mu} * 100$ . De esta forma el estimador del coeficiente

de variación de la muestra está dado como sigue;  $Cv = \frac{S}{\bar{X}}$ , donde  $\bar{X}$  es la media muestral,

y,  $S$  es la desviación estándar muestral. En la siguiente tabla se resume, el factor Coeficiente de variación, con sus respectivos niveles. Tabla 26

Tabla 28 Coeficiente de Variación y sus niveles.

<i>Variabilidad de la demanda</i>			
<i>Coefficiente de variación</i>	<i>Código</i>	<i>Nivel</i>	<i>Valores</i>
<i>Coefficiente Bajo</i>	<i>CV-B</i>	<i>BAJO</i>	<i>0</i>
<i>Coefficiente Alta</i>	<i>CV-A</i>	<i>ALTO</i>	<i>50%</i>

#### 4.4.6 Resumen de los factores.

En la tabla 27, se presenta un resumen de los factores en estudio, así como sus niveles, el código y los respectivos valores de tipo categóricos o numéricos por cada nivel. Tabla 29 Resumen de los factores.

<b>Factor No</b>	<b>Nombre</b>	<b>Label</b>	<b>Numero Niveles</b>	<b>Valores</b>
1	Estructura	<i>Ep</i>	6	<i>Ep1, Ep2, Ep3, Ep4, Ep5</i>
2	Lead Time	<i>Lt</i>	3	0,1,2
3	Comunalidad	<i>cm</i>	2	0; 0,5
4	Heterogeneidad	<i>Hd</i>	2	0%; 88,5%
5	Coeficiente de Variación	<i>Cv</i>	2	0; 0,5

#### 4.5 Variables de Respuesta

Las variables de salida definidas en la presente investigación, son consideradas dentro de la cadena de suministros y el sistema MRP, elementos fundamentales, para la

toma de decisiones. En esta investigación y a partir del comportamiento de la variabilidad del Lead Time, como factor principal y objeto de estudio en esta investigación, se desea indagar y analizar los resultados para determinar el, impacto e interacciones presentes entre factores, además del comportamiento de cada una de las variables de salida. En la Figura - 18 puede apreciarse de manera general un esquema de factores y variables de respuesta para este proceso.

#### 4.5.1 Costos totales.

Los costos totales del sistema, están determinados en el modelo GMOP, por los costos de Setup del Stroke, los costos de Stock, y los costos de planificación, para cada estructura y durante todo el horizonte de planificación. En la siguiente expresión se muestra la ecuación general para los costos totales del modelo, para cada producto dentro de cada estructura.

$$Costos\ totales = \sum_{t=1}^T \left( \sum_{i \in p} (h_{it} * I_{it}) + \sum_{k \in s} (p_{kt} * z_{kt} + \delta_{kt} * f_{kt}) \right).$$

#### 4.5.2 Costos de Setup.

Los costos totales, expresados en la ecuación anterior, están definidos por el costo de Setup por producto  $f_{kt}$ , y la ejecución del Stroke  $\delta_{kt}$  para cada periodo en el horizonte de planificación  $T = 52$  periodos. En la siguiente expresión se muestra la ecuación que identifica los costos de Setup por Stroke y periodo.

$$Costos\ Setup = \sum_{t=1}^T \left( \sum_{k \in s} (\delta_{kt} * f_{kt}) \right)$$

#### 4.5.3 Costos de stock O Almacenamiento

Los costos de Stock, están sujetos a los niveles de inventario de los sub-productos, y de los productos finales representados en  $SKUs$ , y el costo de almacenamiento por cada unidad de  $SKUs$  (productos) para cada periodo  $t$ . En la expresión siguiente se muestran los costos de Stock por producto y periodo.

$$\text{Costos de Stock} = \sum_{t=1}^T \left( \sum_{i \in p} (h_{it} * I_{it}) \right)$$

#### 4.5.4 Costos por faltantes.

Los costos por Faltantes, hacen referencia a las unidades no servidas durante un periodo  $t$ , de forma explícita, es la diferencia entre la demanda real del producto final  $d_{it}$  para cada periodo, y el número de unidades de SKUs, resultado de la ejecución de una unidad de Stroke  $K$ , para cada periodo  $t$  durante el horizonte de planeación  $T$ . En la siguiente expresión se muestra el costo de faltante para cada producto.

$$CF_{ik} = \sum_{i=1}^T (d_{it} - SO_{i,k}) * Cf$$

$d_{it}$  = Demanda

$SO_{i,k}$  = Numero de unidades de SKUs, productode una unidad de Stroke

$Cf$  = Costo de faltantes

#### 4.5.5 Nivel de servicio.

El nivel de servicio (fill rate) se define como la fracción de la demanda que se satisface directamente de estante (Guijarro, Cardós, & Babiloni, 2011). Muchos de los trabajos que relacionan o estudian esta métrica de servicio, se efectúa mediante el uso o aproximación, que calcula la tasa de servicio como el complemento del cociente, entre la demanda insatisfecha esperada, y la demanda esperada por ciclo de reposición. (Guijarro, Cardós, & Babiloni, 2011).

Durante los últimos sesenta años, varios trabajos han sugerido métodos para estimar la tasa de servicio en diferentes contextos. Sin embargo, no hay ningún método exacto y general para estimar la demanda discreta. Guijarro, et al (2011).

El enfoque a utilizar para el cálculo del fill rate, se denomina aproximación tradicional, denotada como  $\beta_{Approx}$ , como la exigencia que no se satisface, en lugar de calcular directamente el cumplimiento de la demanda por ciclo de reposición.

El cálculo del fill rate como complemento del cociente entre la demanda insatisfecha esperada por ciclo de reposición y la demanda total esperada por ciclo de reposición se expresa de la siguiente manera. (Guijarro, Cardós, & Babiloni, 2011).

$$\beta_{Approx} = 1 - \frac{E(\text{Demanda insatisfecha por ciclo de reposición})}{E(\text{Demanda total por ciclo de reposición})}.$$

Considerando el horizonte de planificación para  $T = 52$ , el fill rate se expresa de la siguiente forma.

$$\beta_{Approx} = \sum_{t=1}^T \left( 1 - \frac{E(\text{Demanda insatisfecha por ciclo de reposición})}{E(\text{Demanda total por ciclo de reposición})} \right)$$

#### 4.5.6 Nerviosismo del sistema (ordenes de producción).

El problema de la inestabilidad en la planeación de la producción, o comúnmente llamado “NERVIOSISMO DEL SISTEMA”, fue empleado por primera vez por Daniel Steele (1975)- Entre las posibles causas que afectan el nerviosismo del sistema, se debe primordialmente a los cambios continuos que se presentan en el MPS y a la replanificación del MRP. Estos cambios que con frecuencia se dan en el MPS, son consecuencia de la actualización de los pronósticos dada su incertidumbre, y de otros factores que afectan su estabilidad. Es el caso de Lead Times tardíos, e interrupciones en la entrega de los materiales, debido a horarios poco realistas, más la revisión frecuente de los planes de producción, son síntomas comunes del fenómeno que en la literatura se conoce como inestabilidad o nerviosismo del sistema (Erkan Kabak & Ornek, 2009 ).

En la literatura se encuentra que uno de los primeros estudios para medir la inestabilidad fue propuesto por (Blackburn, Kropp, D. H, & Millen, R. A, (1986). El nerviosismo del sistema MRP, lo define comúnmente como cambios significativos en la planificación del MRP y de sus necesidades, los cuales se producen, por cambios menores en los registros del MRP en el nivel superior o en el plan maestro de producción. Según (Blackburn, Kropp, & Millen, 1985), establece que hay dos causas básicas de la estabilidad en los sistemas MRP, la primera causa debida a la incertidumbre de la demanda (y el

suministro de componentes) y la segunda causa debida a las variaciones que se presentan en el tamaño de lote. Sin embargo los errores en la estimación de la demanda de los productos finales pueden causar también cambios en la programación o nerviosismo en el sistema (Blackburn et al. 1985).

Los cambios en la planificación pueden afectar la cantidad o la programación de las órdenes o los pedidos que ya están programados. (Blackburn et al .1986).

Otro aspecto importante para mencionar, relacionado con el “Nerviosismo del Sistema, tiene que ver con los métodos para reducir el nerviosismo y la forma de medirlo. Uno de los métodos más conocidos en la literatura para reducir el nerviosismo del sistema es el empleo de “Congelamiento del Plan Maestro de Producción –MPS”.

Ahora, con relación a la medición de la inestabilidad en la programación (Blackburn et al .1986) propone un método para medir esa inestabilidad en el MPS. En su estudio, la inestabilidad se mide contando las órdenes no planificadas y las ordenes modificados en el primer período del horizonte de planificación cuando el programa se realiza en horizonte rodante.

De forma similar (Sridharan, Berry, & Udayabhanu, 1987) desarrollaron un metodo, un método medir la inestabilidad en el MPS, y así estudiar el impacto del congelamiento del MPS sobre los costos del inventario, y en sistemas que operan bajo demanda determinística. Posteriormente extendieron sus estudios hasta considerar demanda estocástica. En ese sentido (Sridharan, Berry, & V., (1987) los cuales definen la inestabilidad del MRP, como el promedio ponderado de los cambios de la programación en la cantidad ordenada, sobre la orden de los ciclos de planificación posteriores. Con esta medida, Sridharan et al. (1987), se refiere como la métrica SBU, se aplica un procedimiento de ponderación a los cambios en la programación; los pesos decrecientes se utilizan para representar el aumento de capacidad y poder responder al aumento de la incertidumbre de las demandas.

Por otro lado (Ho, 1989). Calcula el nerviosismo del MRP, como el número total ponderado de la programación prevista y el número o cantidad del programa de salida.

Según (Zhao & Lee, 1996) el problema del nerviosismo o inestabilidad en los sistemas de planificación de requerimientos de materiales (MRP) ha sido identificado y reconocido ampliamente por autoridades y profesionales de los sistemas MRP. Además propone el uso de dos variables para evaluar el desempeño del sistema MRP, bajo varias situaciones.

La primera tiene que ver con los costos del inventario total, la suma de los costos de mantenimiento de inventario para todos los elementos o ítems y dentro de longitud de las corridas de la simulación. La otra variable dependiente está relacionada con la inestabilidad en la programación (Nerviosismo del sistema), y para la cual propone la siguiente ecuación, que es considerada en esta investigación para medir el nerviosismo del sistema.

$$\text{Nerviosismo del Sistema} = I$$

$$I = \left\{ \sum_{i=1}^p \sum_{S>1} \sum_{t \leq M_s}^{M_s+p-1} |Q_{it}^s - Q_{it}^{s-1}| \right\} / k$$

*Donde:*

$i$  = Índice del artículo (1..... $p$ )

$p$  = Numero total de artículos en la estructura del MRP

$t$  = Tiempo del periodo

$s$  = Ciclo de planificación

$Q_{it}^s$  = Cantidad de la orden programada por elemento  $i$  en el periodo  $t$ , durante el ciclo de planificación  $k$

$Q_{it}^{s-1}$  = Cantidad de la orden programada por artículo  $i$  en el periodo  $t$ , durante el ciclo de planificación  $k - 1$

$M_s$  = Iniciación del periodo de planificación del ciclo  $k$

$N$  = Longitud del Ciclo de planificación

$k$  = Numero total de ordenes en todo el ciclo de planificación

*Parametros*

$p = 52$  artículos (productos) por estructura

$s = 1$  Ciclo de planificación

$N = 52$  (Horizonte de planificación)

#### **4.5.7 Complejidad del Sistema.**

La evolución y las exigencias a que las organizaciones están sometidas hoy en día, por su sostenibilidad, es clave que se deba acudir a estrategias que les permitan diferenciarse y marcar diferencias competitivas. Como lo establece ( Sivadasan, Efstathiou , & Calinescu , 2004) las organizaciones manufactureras que operan en entornos competitivos, la capacidad de respuesta del sistema se ha convertido en un elemento altamente diferenciador, que puede asegurar competitividad en precios y calidad. Esta capacidad de respuesta consiste en el seguimiento y la gestión de la incertidumbre en la información, y los flujos de los materiales en un sistema proveedor-cliente. En la medida en que la incertidumbre del sistema de información y los flujos de los materiales aumentan en una cadena de suministro, el sistema se hace más complejo para controlarlo y gestionarlo. (Sivadasan, et al., 2004).

Las cadenas de suministro como sistemas, presentan las características de los sistemas complejos, dado el número de empresas que operan de forma simultánea, con muchos socios de proveedores, e interactuando a través de una variedad de información y flujos de materiales que presenta incertidumbre. (Beamon, 1998, 1999; Christopher, 2000; Harland, 1996; Kehoe et al, 2001).

Bajo este enfoque podemos definir la complejidad de sistema como la interacción del número de elementos y sus relaciones dentro de ese sistema (Bozarth, Warsing, Flynn et al., 2009).

Adicionalmente la complejidad puede estar asociada con los sistemas que son difíciles de comprender, describir, predecir o controlar, así mismo es difícil definir la complejidad en un sentido formal y preciso. Como la ha señalado Scuricini (1987, p 96.) Quien afirma que: La complejidad es una cualidad subjetiva.

De acuerdo al concepto de complejidad, se pueden definir dos clases; La Complejidad estructural, y Complejidad operativa (Frizelle, G., 1998). La complejidad estructural está asociada con las características estáticas de un sistema, o la vinculada a las

dimensiones de diseño, que son estáticas en el sistema. La complejidad operativa se define como la incertidumbre del comportamiento del sistema, con respecto a un nivel especificado de control (Frizelle, G., 1998). En esta investigación nos enfocaremos en la complejidad estructural del sistema. Para calcular la complejidad estructural, nos basamos en la ecuación de (Frizelle, G., 1998), definida como:

$$H_{est} = -\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N p_{ij} \log_2 p_{ij}$$

Donde  $p_{ij}$  representa la probabilidad de que el recurso  $j$ , se encuentre en el estado  $i$ , en la misma ecuación  $i$ , puede representar el número de recursos productivos, los pronósticos de demanda u órdenes, y  $j$  nos representa los posibles estados del sistema, entre ellos, Setup, Producción, y Tiempo ocioso.

Para analizar la complejidad del sistema se puede partir de la planificación de las operaciones, en la Figura 28, se muestra un ejemplo de un sistema de operaciones que tiene cinco tipo de estructuras de productos, con sus respectivos componentes; entre ellos los niveles por cada estructura, recursos de máquinas, tiempos de setup, tiempos de producción, las operaciones y sus productos finales representados en Stroke y SKUs.

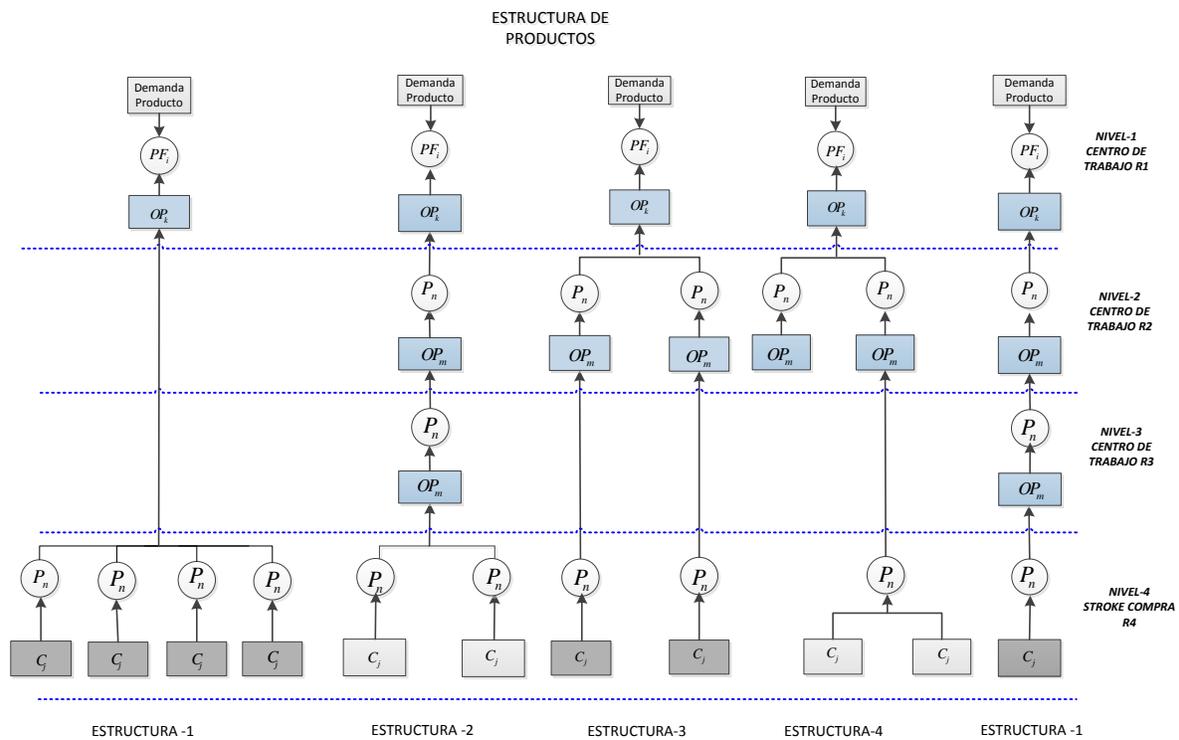
La notación correspondiente se establece así:

- $PF_i$  Producto final( $i = 1, \dots, I$ )
- $OP_k$  Stroke de operación( $k = 1, \dots, K(\text{nivel} - 1)$ )
- $P_n$  Sub - productos( $n = 1, \dots, N$ )
- $OP_m$  Stroke de operación( $m = 1, \dots, M(\text{nivel} - 2, \dots)$ )
- $C_j$  Stroke de compra( $j = 1, \dots, J$ )
- $TS_t$  Tiempo de Setup( $t = 1, \dots, T$ )
- $TP_t$  Tiempo de Producción( $t = 1, \dots, T$ )
- $TD$  Tiempo Disponible( $t = 1, \dots, 2$ )

Las estructuras de la Figura 28 establecen que el producto  $PF_i$ , se fabrica en la operación  $OP_k$ , empleando el recurso del centro de trabajo  $R1$ , y los componentes individuales o combinados  $P_n$ . El sub-producto  $P_n$ , se fabrica en la operación  $OP_m$ , empleando el recurso del centro de trabajo  $R2$ , y utilizando de forma individual o combinada de los materiales  $P_j$ , que se adquieren con el proveedor  $C_j$ .

Para calcular la complejidad del sistema anterior, se establece el horizonte de planificación para  $t=1\dots T$ , periodos y se determina la probabilidad o situación de los recursos  $R1$  y  $R2$  que operan en los centros de trabajo 1 y 2 respectivamente.

Para hallar las probabilidades del estado de cada recurso, se deben identificar los parámetros del modelo de optimización, en el caso específico, se trabaja con el modelo GMOP, como se ha descrito a lo largo de esta investigación.



**Figura 29. Estructura tipo- 1, 2, 3, 4, 5, con centro de trabajo y recursos.**  
Fuente: Elaboración propia, a partir de: Maheut et al, (2011).

Es así como se deben identificar los tiempos de Setup que se emplean en cada centro de trabajo, con el correspondiente recurso. Además del tiempo total empleado en cada programa de producción, y el tiempo disponible por cada recurso o tiempo disponible para producir. Con estos resultados es posible determinar el tiempo libre de producción y calcular la complejidad para cada recurso y por consiguiente la complejidad total del sistema.

Tabla 30 Tabla para cálculo de la complejidad.

Tiempos											
Centro de Trabajo	R1(Recurso)					R2(Recurso)					
Operación; $k=1, \dots, 4; m=1, \dots, 6$	$OP_k$	$OP_k$	$OP_k$	$OP_k$	$OP_k$	$OP_m$	$OP_m$	$OP_m$	$OP_m$	$OP_m$	$OP_m$
Tiempo total de Setup $t = 1, \dots, T$	$TS_i$	$TS_i$	$TS_i$	$TS_i$	$TS_i$	$TS_i$	$TS_i$	$TS_i$	$TS_i$	$TS_i$	$TS_i$
Tiempo disponible para producción	$TP_1$					$TP_2$					
Tiempo libre total	$TL_1$					$TL_2$					

Tiempos /Horas											
	R1(Recurso)					R2(Recurso)					
Estado; $k=1, \dots, 4; m=1, \dots, 6$	$OP_k$	$OP_k$	$OP_k$	$OP_k$	$OP_k$	$OP_m$	$OP_m$	$OP_m$	$OP_m$	$OP_m$	$OP_m$
Setup $k=1, \dots, 4; m=1, \dots, 6$	$P_k$	$P_k$	$P_k$	$P_k$	$P_k$	$P_m$	$P_m$	$P_m$	$P_m$	$P_m$	$P_m$
Producción	$P_1$					$P_2$					
Tiempo Libre	$PTL_1$					$PTL_2$					
Complejidad Estructural	$C_{Estr1}$					$C_{Estr2}$					

En la tabla 28, se muestran los parámetros, variables, y los cálculos requeridos, para hallar la probabilidad del estado de cada recurso. La complejidad estructural del sistema, es la sumatoria de las complejidades de cada recurso, para este caso la definimos como sigue:

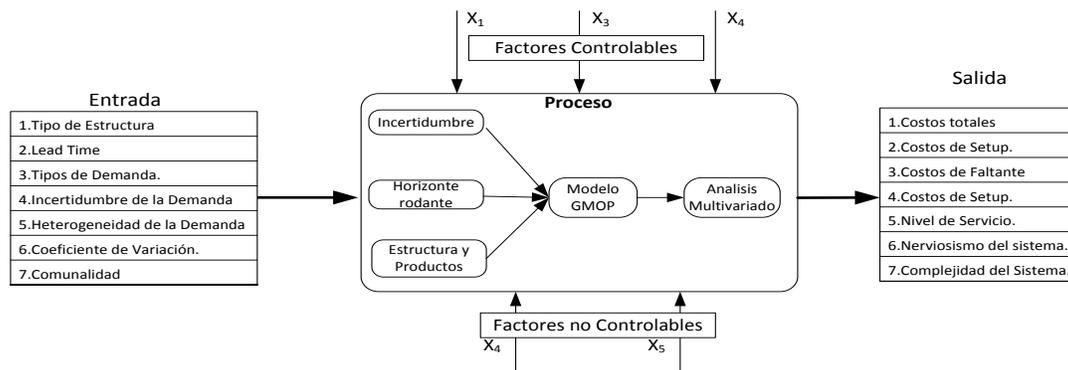
$$H_{Estr}(S) = H_{Estr}(R1) + H_{Estr}(R2)$$

#### 4.6 Diseño del Experimento

Con el propósito de medir el impacto del LEAD TIME, en los costos y en el desempeño del sistema, más específicamente en los costos totales, en los costos de Stock, costos de Setup, costos de faltante, en los costos de Stroke de producción, y para el desempeño en el nivel de servicio o fill-rate, en el nerviosismo del sistema, y en la complejidad del mismo, se recurre al diseño experimental y análisis de varianza con cinco factores(ANOVA) en Statgraphics.

Bajo esas consideraciones en la Figura 29 se muestra la estructura principal, con los factores de entrada y variables de salida, que se tendrán en cuenta para efectuar el diseño experimental.

Para el diseño del modelo, se consideran los cinco factores de evaluación y sus respectivos niveles. Para este experimento se trabajaran tres replicas para cada tratamiento, y para el análisis de varianza se trabaja con el programa estadístico Statgraphics.



**Figura 30. Factores y resultados esperados para el diseño experimental**  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.1 Hipótesis del modelo.

Con los cinco factores de entrada, se desea conocer principalmente el impacto del factor Lead time con cada uno de sus niveles sobre el comportamiento de las variables de respuesta, por consiguiente la hipótesis del modelo se plantea de la siguiente forma.

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \dots \tau_k = 0$$

$$H_A : \tau_i \neq 0 \text{ para a l g un } i$$

#### 4.6.2 Diseño del modelo estadístico.

Teniendo en cuenta el número de factores y sus respectivos niveles se plantea el diseño factorial general con  $f$ , factores  $A, B, C, \dots, K$  y niveles  $a, b, c, \dots, k$  (para  $k$  que representa el,  $f$ -ésimo) o último factor a estudiar, con ello es posible construir el diseño factorial general  $axbxc \dots xk$  que consiste de  $axbxc \dots xk$  tratamiento o corridas experimentales. Para el caso específico de este estudio se trabaja con el diseño, *Factorial general* ( $5 \times 3 \times 2^3$ ) y 3 repeticiones por tratamiento.

Además de estudiar el impacto del Lead Time en tres niveles y las interacciones con otros factores, se quiere confirmar si existe un efecto cuadrático o efectos de curvatura en los costos de los procesos cuando se estudian diferentes niveles para los tiempos de entrega.

**Modelo Estadístico:**

$Y_{ijklm}$  = Variable de Respuesta

$\mu$  = Media general de los costos de Setup

$\alpha_i$  = Efecto del  $i$ -esimo del factor Lead Time

$\beta_j$  = Efecto del nivel  $j$  del factor estructura del producto.

$\gamma_k$  = Efecto del nivel  $k$  del factor demanda del producto.

$\varphi_l$  = Efecto del nivel  $l$  del factor tiempo de congelamiento.

$\varepsilon_{ijklm}$  = error aleatorio en las combinaciones  $i, j, k, l, m$

$$Y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varphi_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\varphi)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\varphi)_{jl} + (\gamma\varphi)_{kl} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + (\alpha\gamma\varphi)_{ikl} + (\beta\gamma\varphi)_{jkl} + (\alpha\beta\gamma\varphi)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm}$$

$i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3; l = 1, 2, 3; m = 1, 2, 3, 4, 5$

**4.6.3 Arreglo experimental.**

Las corridas experimentales o problemas, se estructuran teniendo en cuenta los factores experimentales. Para este arreglo se tienen cinco factores principales y sus respectivos niveles abreviados, el diseño se resume en la tabla 29.

**Tabla 31** Tabla para arreglo experimental.

Factores y Niveles		COMUNALIDAD							
$Y_{ijklm}$ = Variable de Respuesta		CM-B				CM-A			
$l_m = 3$	Repeticiones	HD-B		HD-A		HD-A		HD-B	
Estructura	Lead Time	CV-B	CV-A	CV-B	CV-A	CV-B	CV-A	CV-B	CV-A
EP-1	LT0	$l_m = 3$							
	LT1		$l_m = 3$						
	LT2			$l_m = 3$					
EP-2	LT0				$l_m = 3$				

	LT1					$l_m = 3$			
	LT2						$l_m = 3$		
EP-3	LT0							$l_m = 3$	
	LT1								$l_m = 3$
	LT2								
EP-4	LT0								
	LT1								
	LT2								
EP-5	LT0								
	LT1								
	LT2								

# CAPÍTULO 5

## 5. ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO

Para medir el impacto del LEAD TIME, en una cadena de suministro, se han considerado en el diseño cinco factores principales con sus respectivos niveles y 8 variables de respuesta. De manera más específica, de las ocho variables en estudio, cinco evalúan los costos más relevantes del sistema y las otras tres variables miden su desempeño.

### 5.1 Arreglo o Corridas Experimentales Para los Cinco Factores

Con lo esbozado en el diseño del modelo estadístico, literal 4.5.2, se planteó la necesidad de correr un diseño *Factorial general* ( $5 \times 3 \times 2^3$ ), y tres repeticiones por tratamiento. En la tabla 30, se observa un resumen del diseño del experimento con los factores, código, niveles, y niveles abreviados. Basándonos en el punto anterior, el número de tratamientos está definido por un factorial general, que equivale a 120 tratamientos o problemas por cada replica, para un total de 360 tratamientos para las tres replicas. El arreglo o el diseño del experimento para estos 5 factores y sus respectivos niveles con todas las corridas experimentales se puede apreciar en el Anexo-1.

**Tabla 32 Factores, niveles y códigos del diseño experimental.**

DISEÑO DEL EXPERIMENTO					
FACTORES Y NIVELES					
No	NOMBRE FACTOR	CODIGO	CODIGO NIVEL	VALORES	UNIDAD
1.	TIPO DE ESTRUCTURA(A)	EP-1	1	1	TIPOS
		EP-2	2	2	
		EP-3	3	3	
		EP-4	4	4	
		EP-5	5	5	
2.	TIEMPO DE ENTREGA(B)	LT-1	BAJO	0	PERIODOS
		LT-2	MEDIO	1	
		LT-3	ALTO	2	
3.	COMUNALIDAD(C)	CM-B	BAJO	0%	PORCENTAJE
		CM-A	ALTA	50,0%	
4.	HETEROGENEIDAD DE LA DEMANDA(D)	HD-A	BAJO	0%	PORCENTAJE
		HD-B	ALTA	88,5%	
5.	COEFICIENTE DE VARIACION(E)	CV-B	BAJO	0%	COEFICIENTE
		CV-A	ALTA	50,0%	

## 5.2 Factores Experimentales y las Variables de Respuesta para el Análisis de Varianza

Para esta primera fase de análisis, y basándonos en los cinco factores experimentales, se desea saber cuál de ellos se encuentran activos o resultan significativos y que impacto o efecto tiene cada factor sobre cada variables de salida o de respuesta. De las primeras cinco variables de respuesta en estudio y como se explicó en el párrafo anterior, se evalúan algunos de los costos en que incurre el proceso de planificación de la producción. Entre ellos tenemos; El Costo Total, el Costo de Inventario, El Costo de Faltante, el Costo de Stroke de Producción, y los Costos de Setup. Para el segundo grupo de tres variables, se ha considerado la medición del desempeño del sistema, mediante los indicadores de; Complejidad del Sistema, El Nivel de Servicio, y el Nerviosismo del Sistema. En ese sentido la primera variable de respuesta a analizar es el “Costo Total”, donde se incluye el análisis del efecto principal para cada uno de estos cinco factores, así como, las interacciones dobles entre el factor Lead Time (LT) y el factor Estructura del Producto (EP), que son de interés para esta investigación. En la tabla 31 se resumen las variables de respuesta en estudio.

## 5.3 Consideraciones Generales para el Análisis de Varianza

Para efecto de análisis y construcción de análisis de la tabla ANOVA, se consideran los aspectos relacionados con la suma de cuadrados SC por tratamiento, los grados de libertad por tratamiento o factor, y de los cuadrados medio por tratamiento y para el error se trabaja con los estadísticos de prueba basados en la distribución F, y el valor prefijado para la significancia, se establece con  $\alpha = 5\%$ . El nivel de confianza se fija en un 95% mediante la prueba de Fisher LSD.

**Tabla 33 Variables de respuesta.**

VARIABLE DE RESPUESTA	CODIGO
Costo Total	TCR
Costo de Inventario	HCR
Costo de Faltantes	BCR
Costo de Stroke de Producción	PCR
Costos de Setup	SCR
Complejidad	HSR
Nivel de Servicio	NSR
Nerviosismo del Sistema	ISR

## 5.4 Verificación de los supuestos del Modelo

Los resultados obtenidos para cada variable de salida están sujetos a que la muestra de los residuos  $e_{ij}$  cumpla con los supuestos del modelo. En términos de los residuos estos supuestos son: Los  $e_{ij}$  siguen una distribución normal con media cero, los  $e_{ij}$  son independientes entre sí, y los residuos de cada tratamiento tienen la misma varianza. Para verificar el supuesto de normalidad en cada variable de respuesta, se aplica la prueba de Shapiro-Wilks, además para comprobar que los tratamientos tienen la misma varianza constante, se trabaja con la gráfica de los predichos contra los residuos y para verificar el supuesto de independencia en los residuos se utiliza la gráfica que muestra el orden en que se recolectaron los datos contra los residuos correspondientes.

## 5.5 Análisis de Varianza para Cinco Factores Experimentales e Interacciones Triples.

### 5.5.1 Análisis de varianza para los “Costos Totales”.

Con base en las consideraciones anteriores y de los resultados obtenidos en la tabla ANOVA de la significancia los cinco factores principales sobre la variable de respuesta, *Costo Total (TCR)* se aprecia que el *valor - p*, para cada uno de los efectos principales Estructura del Producto(EP), Comunalidad(CM), Heterogeneidad de la Demanda(HD) y Coeficiente de Variación(CV), resultan estadísticamente activos y con impacto en la variable de respuesta, *TCR*, excepto para el factor “Lead Time” (LT), cuyo *valor - p* =0,4356, estadísticamente no significativo o activo y menor que el *nivel  $\alpha$*  de significancia prefijado.

Se concluye entonces que de acuerdo al análisis de varianza para la variable de respuesta “*Costo total*”, se acepta la hipótesis nula  $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$  para el factor “Lead Time”, y se rechaza la hipótesis alternativa  $H_A: \mu_i \neq \mu_j$  para todo  $i \neq j$ . En el Anexo 50 se pueden apreciar los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para los factores principales que se encuentran activos.

Teniendo en cuenta el valor-P, es mayor que el nivel alfa prefijado, y debido a la falta de significancia del factor LT para la variable de respuesta “Costo Total, se puede concluir que hay igualdad entre las medias poblacionales de los diferentes tratamientos. Por

consiguiente se infiere que variaciones en los niveles de 0, 1, y 2 periodos para el factor LT, no afecta significativamente la variable “Costos Totales”. Ver Anexo 51 grafica de medias para LT y la variable de respuesta “*Costo Total*”.

### 5.5.2 Analisis de Varianza para “Costos de Inventario”.

De los resultados de la tabla ANOVA, se observa que el *valor – p*, para cada uno de los efectos principales, Estructura del Producto(EP), Lead Time(LT), Comunalidad(CM), Heterogeneidad de la Demanda(HD) y Coeficiente de Variación(CV), resultan significativos o activos y mayores que el *nivel  $\alpha$*  de significancia prefijado. Se concluye entonces que de acuerdo al análisis de varianza para la variable de respuesta “*Costo de Inventario*”(HCR), se rechaza la Hipótesis nula  $\mu_1=\mu_2=....\mu_k$ , para los factores EP, LT, CM, HD y CV, se acepta la hipótesis alternativa  $H_A: \mu_i \neq \mu_j$  para todo  $i \neq j$  donde estos factores principales, estadísticamente se encuentran activos o son significativos. En el Anexo 52, se puede observar la diferencia de medias para el factor *Lead Time*. Sin embargo y a pesar de que el factor LT, resulta activa para la variable “Costos de Inventario”, aun con ajuste de algunos datos atípicos, la variable HCR, no cumple el supuesto de Normalidad. Ver Anexo 52, prueba de normalidad Shapiro –Wilks para HCR.

### 5.5.3 Analisis de Varianza para las variables *BCR, PCR, SCR, HSR, NSR e ISR*

De manera similar se procede con el Analisis de Varianza para cada variable de respuesta, con el respectivo análisis de significancia mediante el *valor –P*, para el factor *Lead Time (LT)* y la validación del modelo según la prueba de hipótesis. De acuerdo al anova para cada variable *BCR, PCR, SCR, HSR, NSR* se observa que el factor LT resulta no significativo, esto es el *Valor-P*, es mayor que el nivel de significancia prefijado. Ver Anexos 53.

Se concluye entonces que de acuerdo al análisis de varianza para la variable de respuesta *BCR, PCR, SCR, HSR, NSR*, se acepta la Hipótesis nula  $\mu_1=\mu_2=....\mu_k$ , para el principal factor de interés *LT*, y se rechaza la hipótesis alternativa  $H_A: \mu_i \neq \mu_j$  para todo  $i \neq j$  donde el factor principal LT estadísticamente resulta no significativo. Ver resume en la tabla 32

**Tabla 34 Significancia y Normalidad para LT**

Análisis del Factor Lead Time para cada una de las variables de respuesta					
VARIABLE	Anova(Valor-P)	Supuestos			
	Significancia	Datos Ajustado	Normalidad	Varianza	Independencia
Costos Totales(TCR)	NO	NO	NO	SI	NO
Costo Inventario(HCR)	SI	SI	NO	SI	SI
Faltantes (BCR)	NO	NO	NO	SI	SI
Costo Producción(PCR)	SI	SI	NO	NO	SI
Costo de Setup(SCR)	NO	NO	NO	SI	NO
Complejidad HSR)	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel de Servicio(NSR)	NO	NO	NO	SI	SI
Nerviosismo (ISR)	SI	NO	NO	SI	SI

Con base en el estudio para los cinco factores, y considerando solo el factor de interés principal Lead Time y las ocho variables de respuesta, en la tabla 32 se puede observar la no significancia para alguna de ellas y la falta de normalidad en otras. Debido a lo anterior se decide revisar el impacto que tiene cada factor en los resultados de cada variable, se deduce entonces que el factor Coeficiente de Variación (CV) afecta significativamente los resultados cuando trabaja con los dos niveles, alto y bajo, esto es un coeficiente de variación en cero y otro coeficiente con variación de 50%. Por lo anterior y para el siguiente análisis se fija el Coeficiente de variación en el nivel alto, esto es la demanda presenta alta variabilidad.

Se infiere que un comportamiento constante de la demanda, para la variabilidad en el factor Tiempo de Entrega (LT) no tiene efectos significativos en las variables de respuesta *TCR, BCR, PCR, SCR, HSR, NS*.

## **5.6 Análisis de Varianza para Cuatro Factores Experimentales e Interacciones**

### **Triples**

En esta segunda fase de análisis, y considerando cuatro factores experimentales, se desea saber cuál de ellos se encuentran activos o resultan significativos y que impacto o efecto causan en las variables de salida. En ese sentido la primera variable de respuesta a analizar es el “Costo Total”, donde se incluye el efecto de estos cuatro factores principales,

así como, las interacciones dobles entre el factor Lead Time (LT) y el factor Estructura del Producto (EP).

Además de la significancia de los factores principales que resultan activos, se analizan las interacciones dobles entre los factores EP y LT, y únicas de interés para este estudio, se considera también que el coeficiente de variación para la demanda opera siempre en un nivel alto.

## 5.7 Análisis de Varianza de los “Costos Totales”(TCR)

### 5.7.1 Supuestos del modelo.

**Supuesto de Normalidad.** Basados en la prueba gráfica de los residuos para la variable de respuesta TCR, se observa que la distribución normal ajusta bien los datos de los residuos. Desde el punto de vista analítico, el valor-p para la prueba de Shapiro-Wilk= 0,810863, debido a que el valor-p es mayor que 0,05 no se puede rechazar la hipótesis de que los residuos proviene de una distribución NORMAL. En la Figura 30 se observa el comportamiento de los residuos de la variable TCR se distribuyen normalmente muy a pesar de algunos datos atípicos.

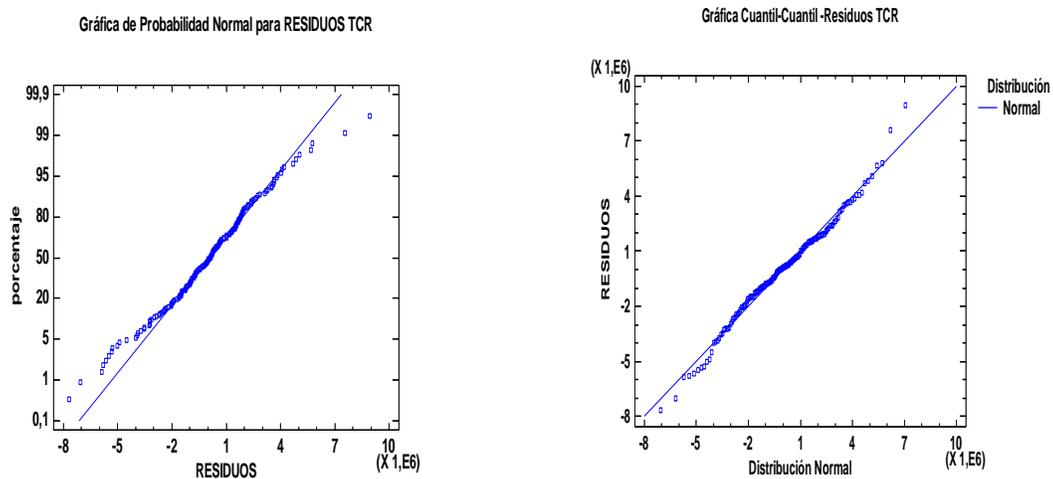
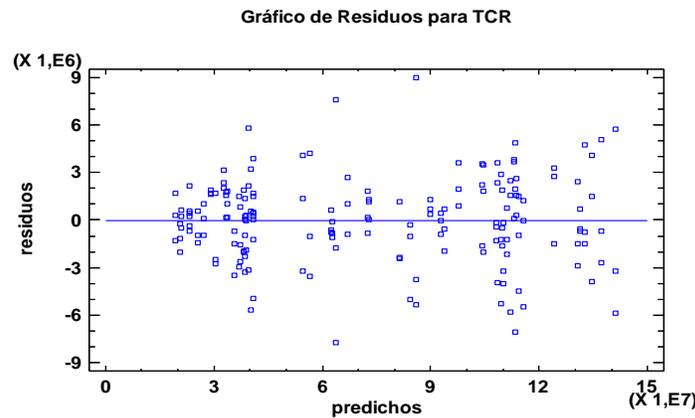


Figura 31. Grafica Normalidad para residuos TCR

**Supuesto de varianza constante.** Como se aprecia en la Figura 31, predichos y residuos, no se observa ningún patrón, se toma como señal de que se cumple con el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza.



**Figura 32. Grafica predichos Vs residuos para varianza constante.**

En el Anexo 3 se muestra la gráfica de los residuos por factor con sus respectivos niveles para la *Estructura del Producto* y *Lead Time*, se confirma que existe alguna similitud en la dispersión que indican los datos, por consiguiente, se cumple con el supuesto de que los tratamientos para estos dos factores presentan igual varianza.

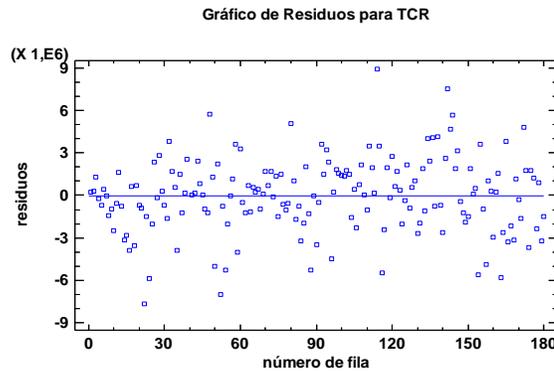
### **5.7.2 Supuesto de independencia.**

De la Figura 32 que registra el orden en que se tomaron los datos contra los respectivos residuos, se puede apreciar gráficamente que no se evidencia tendencia o patrón que este claramente definido, por ende no se identifica una correlación entre los errores y se confirma que el supuesto de independencia se cumple.

### **5.7.3 Resultados del análisis de varianza y la variable de respuesta “Costo Totales”.**

Con base en los resultados de la variable de respuesta “Costos Totales”(TCR), en el Anexo 4, se muestra el ANOVA para los cuatro factores principales, *Estructura del Producto (EP)*, *Lead Time (LT)*, *Comunalidad (CM)*, y *Heterogeneidad de la Demanda*

(*HD*) de tal forma que el *valor - p*, para cada uno de los cuatro efectos principales, *EP*, *LT*, *CM* y *HD*, resultan ser estadísticamente significativos o factores activos y con *valor - p* menores que el nivel de significancia prefijado



**Figura 33. Grafica de independencia para residuos TCR.**

El factor *LT*, presenta un *valor - p* = 0,0000, igualmente para el factor *EP*, presenta un *valor - p* = 0,000, el factor *CM*, con *valor - p* = 0,0000, y el factor *HD*, con un *valor - p* = 0,0000, respectivamente.

#### **5.7.4 Análisis de medias para los factores “Estructura del producto (*EP*) y el factor Lead Time (*LT*) y la variable de respuesta *TCR*.”**

De los resultados del análisis de varianza para la variable de respuesta *TCR* y a la gráfica de medias de la Figura 33, se rechaza la Hipótesis nula  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_k$  para los factores *EP*, *LT*, *CM* y *HD*, y se acepta la hipótesis alternativa  $H_A : \mu_i \neq \mu_j$  para todo  $i \neq j$ , se puede concluir que estadísticamente no hay igualdad entre las medias poblacionales para los diferentes niveles de los factores en estudio, por consiguiente existe un impacto significativo por cambio de nivel del factor Lead Time y del factor Estructura del Producto, sobre los *Costos Totales(TCR)*.

Mediante la prueba de rangos múltiples, se confirma que para el factor *LT*, el contraste entre los niveles *LT0* y *LT1*, el contraste *LT0* y *LT2*, y en el contraste *LT1* y *LT2*

se presentan diferencias significativas entre sus medias y sin grupos homogéneos para un nivel de confianza del 95%

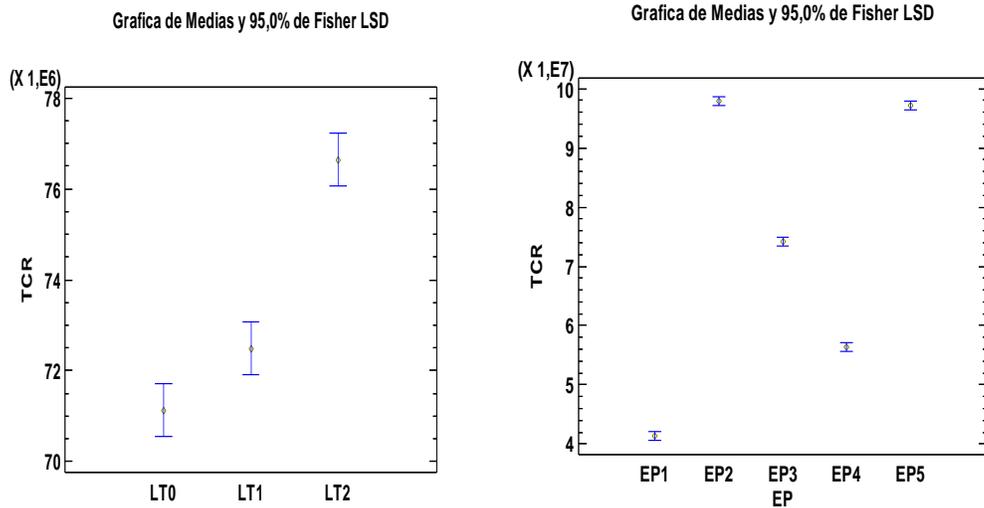


Figura 34. Grafica de medias para los factores LT y EP y variable TCR.

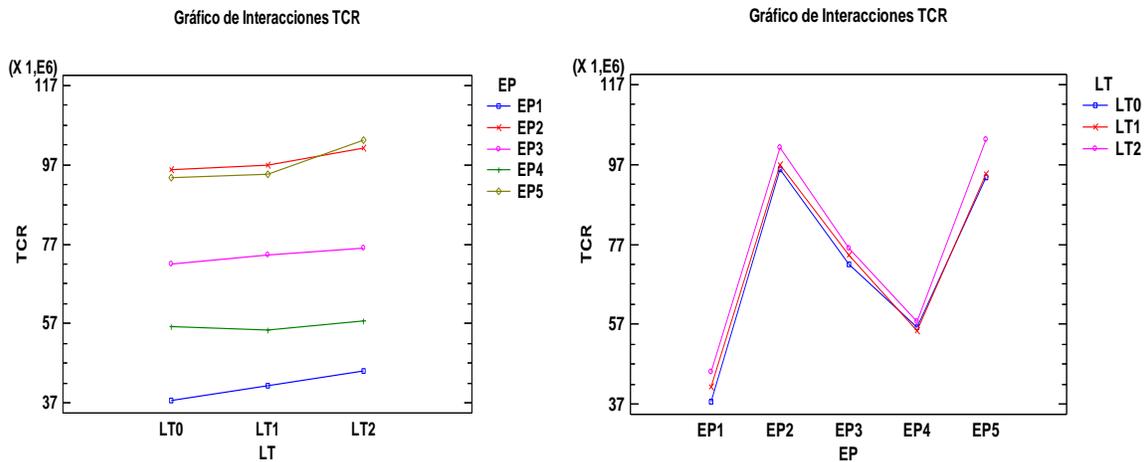
Igualmente, para los contrastes resultantes del factor y los cinco niveles del factor se evidencian diferencias significativas en las medias para cada nivel de EP, y sin grupos homogéneos. Los resultados se reflejan en el Anexo 5, prueba de rangos múltiples para LT y EP.

Se puede observar también que el *Costo Total (TCR)* se incrementa para las estructuras EP2 y EP5 y el Lead Time opera en un nivel alto (LT2), para este caso cuando el Stroke de transporte, tiene una demora igual a dos periodos. De manera similar, el TCR disminuye en la medida que el tiempo de entrega cambia de nivel de LT1 a LT0 periodos. Si la tendencia de una disminución o incremento en los costos totales por cambio operados en el LT, se mantiene, se infiere entonces, que en la medida en que el tiempo de entrega (LT) se hace mayor, los *Costos Totales* se incrementan. Por otro lado el TCR disminuye para la estructura del producto-1 (EP1), esto corresponde a un Tiempo de entrega del nivel LT0, para este caso, cuando los tiempos de entrega por parte del proveedor presentan una demora igual a cero periodos.

Se concluye entonces que ampliar los plazos de entrega de cero a dos periodos, se manifiesta en un incremento en los Costos Totales.

**5.7.5 Análisis de las interacciones dobles para los factores EP , LT y la variable de respuesta “Costo Total (TCR)”.**

De los datos de interacciones dobles (Anexo-4), para los factores “Estructura del producto” (Factor- A) y “Lead Time” (Factor B), se observa que estadísticamente resultan significativa las interacción AB, con un *valor – p* de 0,0000, menor que el nivel de significancia prefijado, igualmente resultan estadísticamente significativas las interacciones BC, con un *valor – p* de 0,0074, y la interacción BD, con un *valor – p* de 0,0000.



**Figura 35. Interacciones para el Factor EP, LT y la VR, TCR**

Se puede concluir también, que de acuerdo a la significancia de los factores Lead Time (LT), y Estructura del Producto (EP) y el efecto de interacción (AB), ampliamente significativo para la variable de respuesta TCR, el costo más alto se observa para la estructura del producto EP2, y la estructura EP5, y con alguna disminución leve en el costo total cuando el LT pasa de un nivel alto a un nivel bajo (LT2 a LT0), es decir cuando el LT0 = 0 periodo, o el tiempo de entrega de los materiales para compra se realiza justo a tiempo.

Por otro lado, el costo total más bajo se presenta en la estructura EP1 (Estructura pura de ensamble), de tal forma que un cambio del Lead Time, del nivel LT0 al nivel LT2, que corresponde a una variación de dos periodos para entrega por parte del proveedor, se traduce en un incremento moderado en el *Costo Total*.

Con relación a la interacción del factor *Lead Time* (*LT*) y el factor Comunalidad (*CM*) Figura 35, el *Costo Total* se incrementa cuando se trabaja con alta comunalidad en los materiales, y disminuye cuando los materiales tienen baja comunalidad, de lo anterior se desprende que un leve incremento en los *Costos Totales*, cuando el Tiempo de Entrega se amplía.

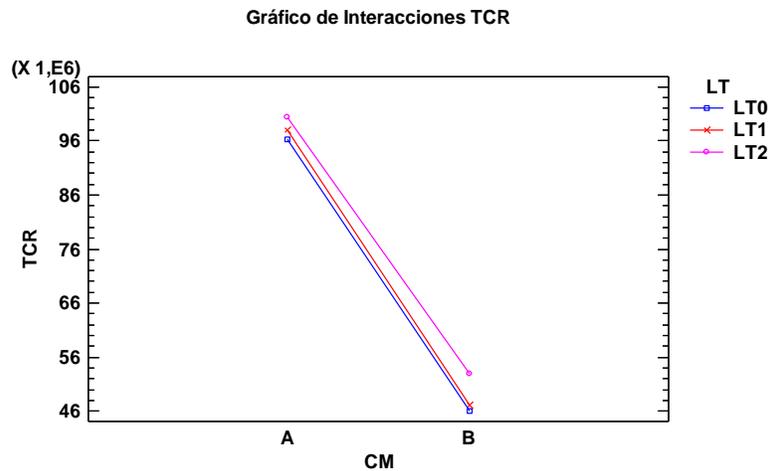


Figura 36. Interacciones para el Factor LT y CM para la VR, TCR

## 5.8 Análisis de Varianza de los “Costos de Inventario”(HCR)

### 5.8.1 Supuestos del modelo.

**Supuesto de Normalidad.** Basados en la prueba grafica de los residuos para la variable de respuesta *Costos de Inventario* (*HCR*), se observa que la distribución normal ajusta bien los datos de los residuos. Desde el punto de vista analítico el valor-p para la prueba de Shapiro-Wilk= 0,078608 debido a que el valor-p es mayor que 0,05 no se puede rechazar la hipótesis de que los residuos provienen de una distribución NORMAL. En la Figura 36 se observa el comportamiento de los residuos y como la variable *HCR* se distribuyen normalmente, a pesar de algunos datos atípicos no influyen en la normalidad del a variable.

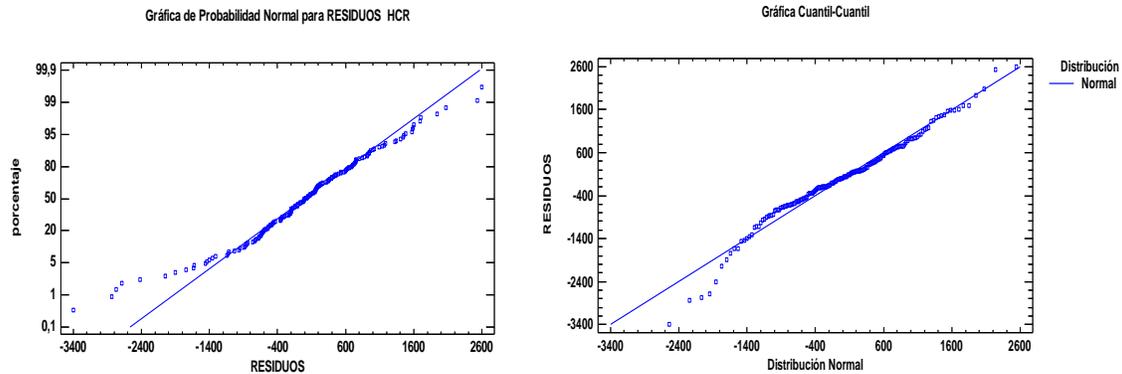


Figura 37. Grafica de Normalidad para residuos HCR

**Supuesto de varianza constante.** Como se aprecia en la Figura 37, predichos y residuos, no se observa ningún patrón en los datos de los residuos de la variable HCR, se toma como señal de cumplimiento con el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza.

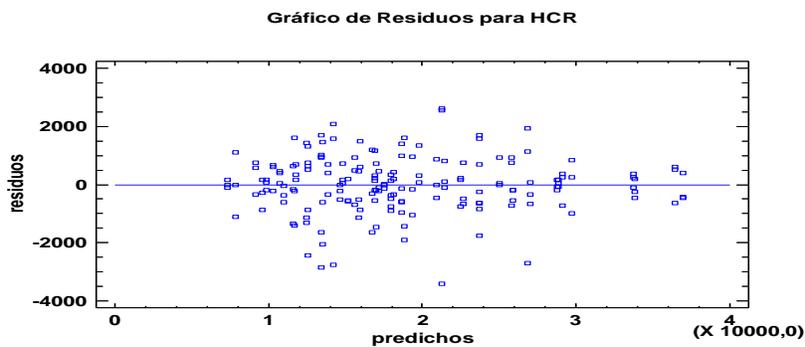


Figura 38. Predichos contra residuos para el Factor, Costo de Inventario.

En el Anexo 7, se muestra la gráfica de los residuos para los factores, *Estructura del Producto* y *Lead Time* para la variable de respuesta *HCR*, se confirma que existe alguna similitud en la dispersión que indican los datos, por consiguiente se cumple también con el supuesto de que los tratamientos para este factor presentan igual varianza.

### 5.8.2 Supuesto de Independencia.

De la Figura 38 que registra el orden en que se tomaron los datos contra los respectivos residuos, se puede apreciar que no se evidencia tendencia o patrón que este claramente definido, por consiguiente no se identifica una correlación entre los errores y se

confirma que el supuesto de independencia se cumple para la variable Costos de Inventario. (*HCR*)

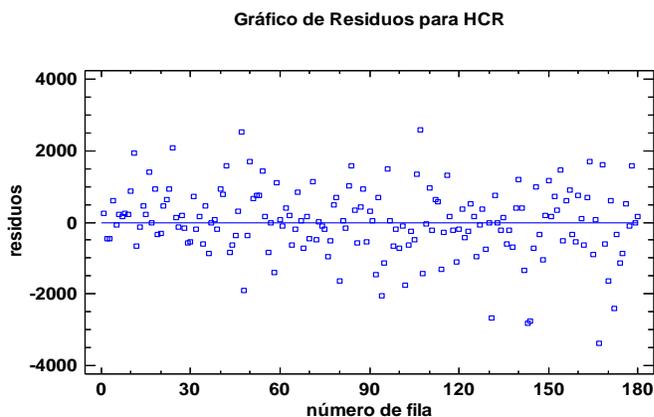


Figura 39. Orden de los datos contra residuos para HCR.

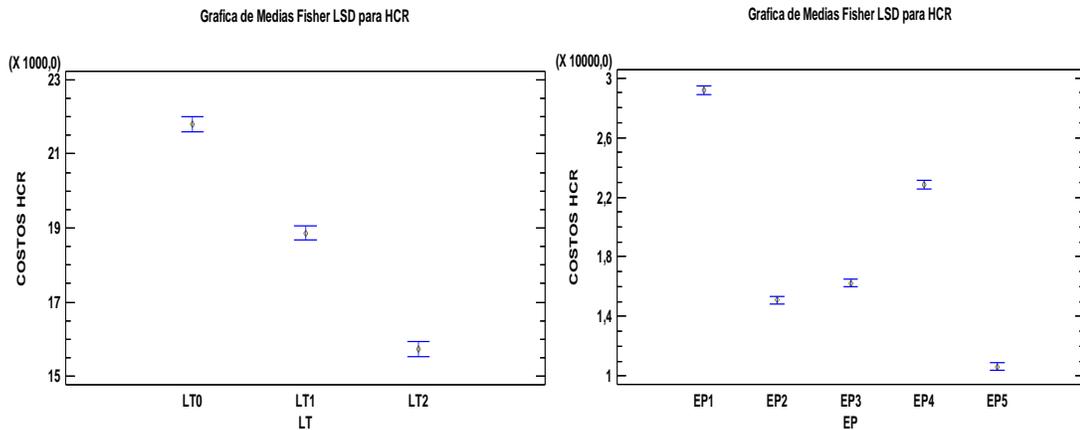
### 5.8.3 Resultados del análisis de varianza y la variable de respuesta “Costo de Inventario”.

Con base en los resultados de la variable de respuesta “Costos de Inventario”(HCR), en el Anexo 8, se muestra el ANOVA para los cuatro factores principales, *Estructura del Producto (EP)*, *Lead Time (LT)*, *Comunalidad (CM)*, y *Heterogeneidad de la Demanda (HD)*, de tal forma que el *valor - p*, para cada uno de los cuatro efectos principales, *EP*, *LT*, *CM* y *HD*, resultan ser estadísticamente significativos o factores activos y con *valor - p* menores que el nivel de significancia prefijado. El factor *LT*, presenta resultados con un *valor - p*=0,0000, igualmente para los factores *EP*, con *valor - p* =0.000, el factor *CM*, con un *valor - p*=0,0000, y el factor *HD*, con un *valor - p* =0,0000, respectivamente.

### 5.8.4 Análisis de medias para los factores “Estructura del producto (EP) y el factor Lead Time (LT) y la variable de respuesta HCR.

Basándonos en el análisis de varianza para la variable de respuesta *HCR* y a la gráfica de medias de la Figura 39 se rechaza la Hipótesis nula  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots, \mu_k$  para los factores *EP*, *LT*, *CM* y *HD*, y se acepta la hipótesis alternativa  $H_A : \mu_i \neq \mu_j$  para todo  $i \neq j$ ,

se puede concluir que estadísticamente no hay igualdad entre las medias poblacionales para los diferentes niveles de los factores en estudio, se concluye entonces que existe un impacto significativo por cambio de nivel del factor Lead Time y del factor Estructura del Producto, sobre los *Costos de Inventario (HCR)*.



**Figura 40. Grafica de Medias para el Factor EP, LT y la VR, HCR**

De acuerdo con la prueba de rangos múltiples para la variable de respuesta *HCR*, se confirma que para el factor LT, el contraste entre los niveles *LT0* y *LT1*, el contraste *LT* y *LT2*, y en el contraste *LT1* y *LT2* se presentan diferencias significativas entre sus medias, y sin grupos homogéneos para un nivel de confianza del 95%, paralelamente, para los contrastes entre los cinco niveles del factor EP, se evidencian diferencias significativas en las medias para cada nivel de EP. Los resultados se reflejan en el Anexo 9, prueba de rangos múltiples para LT y EP.

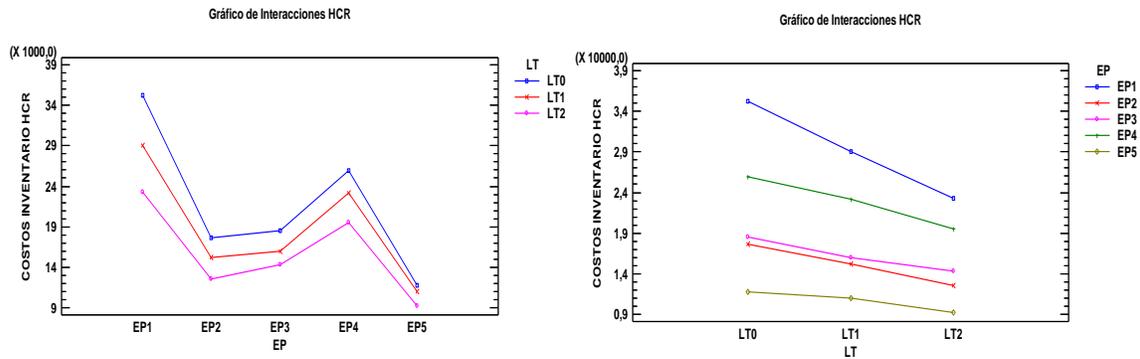
Se confirma además que el *Costo del Inventario (HCR)* se incrementa cuando se opera con la estructura pura de ensamble EP1 y el Lead Time se encuentra en el nivel bajo LT0, para este caso cuando el Stroke de transporte, se realiza justo a tiempo o no presenta demora. Por otro lado *HCR* disminuye en el nivel EP5, esto corresponde a un tiempo de entrega en el nivel LT2, lo que es igual, cuando el Stroke de transporte, presenta una demora igual a dos periodos.

Se infiere entonces, que el cambio de nivel, o en la medida que el Tiempo de Entrega se hace menor se refleja en un incremento en los “*Costos de Inventario*”, debido al aumento en el número de pedidos y a la alta rotación de los materiales. Además, los “*Costos del Inventarió*” representan solo el 3% de los Costos Totales, una participación bastante baja, considerando que los *Costos de Inventario* pueden jugar un papel importante dentro de los Costos Totales. En el Anexo 11, se puede apreciar el porcentaje de participación de los *Costos de Inventario* sobre los *Costos Totales*.

#### **5.8.5 Análisis de las interacciones dobles para los factores EP y LT y la variable de respuesta “*Costo del Inventario (HCR)*”.**

De los datos de interacciones dobles (Anexo 8) para los factores “Estructura del producto” (Factor- A) y “Lead Time” (Factor B) se observa que estadísticamente resulta significativa la interacción AB, con un *valor – p* de 0,0000, menor que el nivel de significancia prefijado (Figura 40), igualmente resultan estadísticamente significativas las interacciones BC, con un *valor – p* de 0,0000, y la interacción BD, con un *valor – p* de 0,0012.

Se puede concluir también que de acuerdo a la significancia de los factores Lead Time (LT), y Estructura del Producto (EP) y el efecto de interacción (AB), ampliamente significativo para la variable de respuesta *HCR*, el costo más alto se observa para la estructura del producto EP1, y cuando el  $LT_0 = 0$  periodo, es decir la entrega se realiza justo a tiempo.



**Figura 41. Interacción doble para el Factor LT y EP y la VR, Costos de Inventario.**

Además cuando el Lead Time pasa del nivel alto a un nivel bajo (LT2 a LT0), esto es, el plazo de entrega, disminuye a cero periodos, entonces el *Costo de Inventario* se incrementa para todas las estructuras, sin embargo en la estructura EP1, se experimenta una mayor variación en los Costos de Inventario con el 51%.

Por otro lado, el *Costo de Inventario* más bajo se presenta en la estructura EP5 (Estructura pura de proceso), de tal forma que un cambio del Lead Time, del nivel LT0 al nivel LT2, que corresponde a dos periodos, se traduce también en una disminución en el costo del inventario para EP5, pero de manera moderada, además la estructura EP5 y EP3, son las que presentan menor variación en los costos del inventario, con el 29,5% y 29,2% respectivamente (ver Anexo 11). Para resumir, cuando el Lead Time pasa de una entrega con demora de cero periodos a dos periodos los “*Costos de Inventario*” (HCR) disminuyen para todas las estructuras del producto y con mayor variación para la estructura EP1. Los resultados de la interacción se muestran para la Figura 40.

De los registros y de las gráficas de interacción entre el factor *Lead Time (LT)* y el factor Comunalidad (CM) Figura 41, se demuestra que el Costo de Inventario se incrementa independientemente si la comunalidad es baja o alta, cuando los plazos de entrega se reducen de dos a cero periodos (LT2 a LT0). Análogamente se infiere también que si la tendencia de disminuir el plazo de entrega (LT2 a LT0) se infiere también que el operar con comunalidad baja, tiene mejor impacto, representado en una reducción en los *Costos del Inventario* hasta 32%. En ese mismo sentido la variación reflejada en los *Costos*

del *Inventario* cuando se trabaja *Comunidad Alta* es del 23%. De lo anterior se deriva, que el ampliar los plazos de entrega de LT0 a LT2, se refleja un mejor comportamiento reduciendo los *Costos de Inventario* cuando se trabaja con *Alta Comunidad* en los materiales.

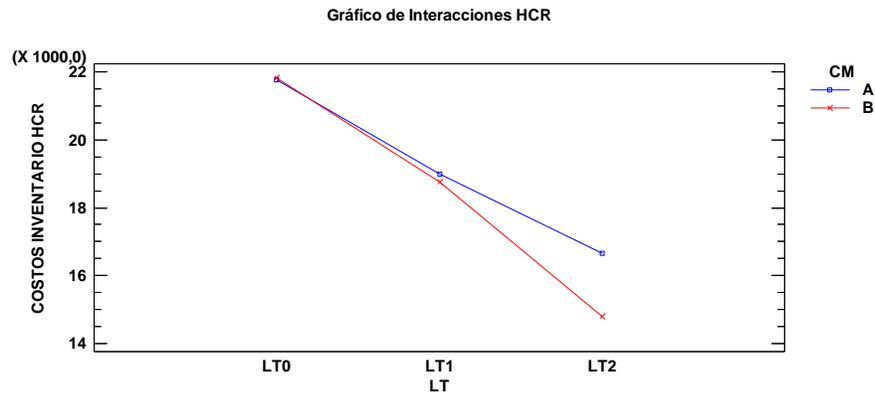


Figura 42. Interacción doble para el Factor LT y EP y la VR, CM.

## 5.9 Análisis de Varianza para los “Costos de Faltantes”(BCR)

### 5.9.1 Supuestos del modelo.

**Supuesto de Normalidad.** Basándonos en la prueba grafica de los residuos para la variable de respuesta *Costos de Faltantes (BCR)*, se observa que la distribución normal ajusta bien los datos de los respectivos residuos. Desde el punto de vista analítico el valor-p para la prueba de Shapiro-Wilk= 0,585398 debido a que el valor-p es mayor que 0,05 no se puede rechazar la hipótesis de que los residuos provienen de una distribución NORMAL. En la Figura 42 se observa el comportamiento de los residuos de la variable *BCR* se distribuyen normalmente, muy a pesar de algunos datos atípicos. Ver Anexo 14 Caja y Bigote.

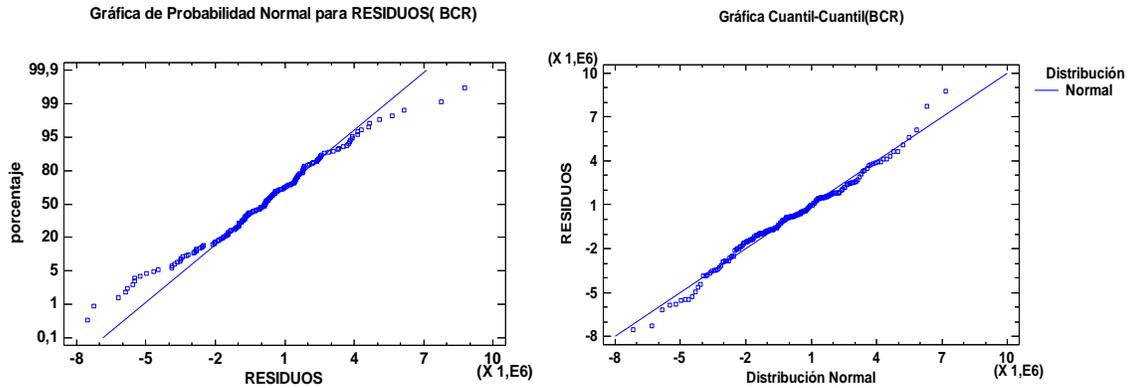


Figura 43. Grafica de Normalidad para residuos *BCR*

**Supuesto de varianza constante.** Como se aprecia en la Figura 43, predichos y residuos, no se observa ningún patrón en la gráfica de residuos para los *Costos de Faltantes* y se toma como señal de que se cumple con el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza.

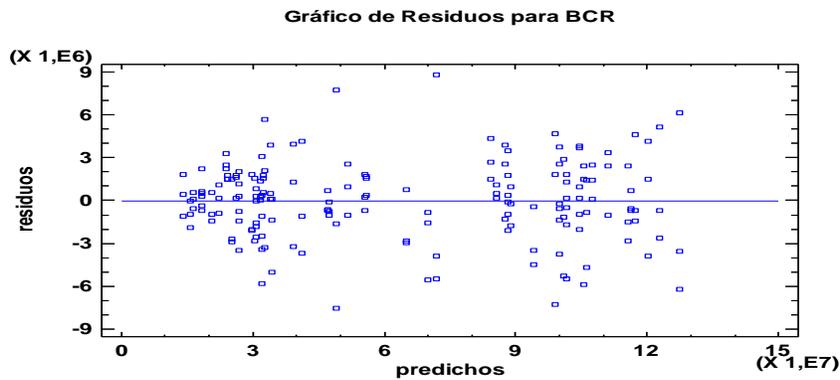


Figura 44. Predichos contra residuos para el Factor, Costo de Faltantes

En el Anexo 15, se muestra la gráfica de los residuos para los factores, Estructura del Producto y Lead Time para la variable de respuesta *BCR*, se confirma entonces que existe alguna similitud en la dispersión que indican los datos, se desprende también que se cumple también con el supuesto de que los tratamientos para este factor presentan igual varianza.

### 5.9.2 Supuesto de Independencia.

De la Figura 44, que registra el orden en que se tomaron los datos contra los respectivos residuos, no se tiene evidencia de tendencia o patrón que este claramente

definido, por consiguiente no se identifica una correlación entre los errores y se confirma que el supuesto de independencia se cumple, para la variable *Costos de Faltantes*.

### 5.9.3 Análisis de varianza para la variable de respuesta “Costos de Faltantes”.

Con base en los resultados de la variable de respuesta “Costos de Faltante”(BCR), Anexo 15, se muestra la tabla ANOVA para los cuatro factores principales, de tal forma que el *valor-p*, para cada uno de los cuatro efectos principales, *EP*, *LT*, *CM* y *HD*, resultan ser estadísticamente significativos o factores activos y con *valor-p* menor que el nivel de significancia prefijado.

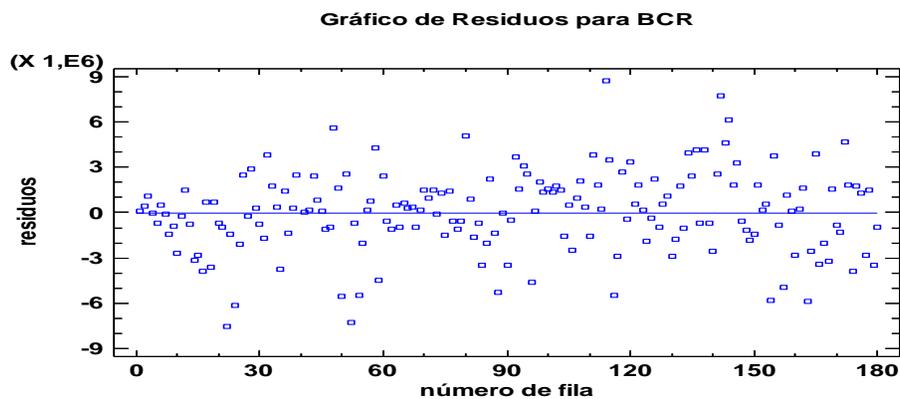


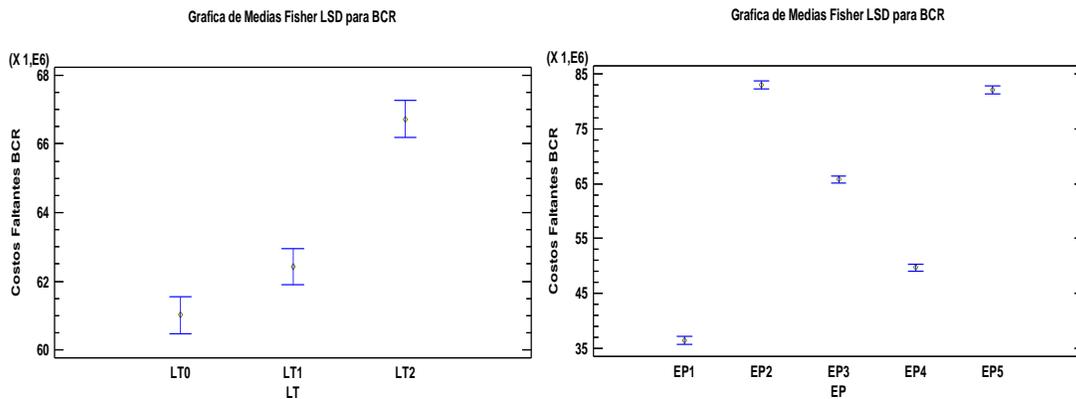
Figura 45. Orden de los datos contra residuos para el Factor, BCR.

El factor *LT*, presenta resultados con un *valor-p*=0,0000, igualmente para los factores *EP*, con *valor-p*=0,000, el factor *CM*, con un *valor-p*=0,0000, y el factor *HD*, con un *valor-p*=0,0000, respectivamente.

### 5.9.4 Análisis de medias y contrastes para los factores *LT*, *EP* y la variable de respuesta *BCR*.

De acuerdo al análisis de varianza para la variable de respuesta *BCR* y a la gráfica de medias de la Figura 45 se rechaza la Hipótesis nula  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_k$  para los

factores *EP*, *LT*, *CM* y *HD*, y se acepta la hipótesis alternativa  $H_A : \mu_i \neq \mu_j$  para todo  $i \neq j$ , se puede concluir que estadísticamente no hay igualdad entre las medias poblacionales para los diferentes niveles de los factores en estudio, esto indica, que existe un impacto significativo por cambio de nivel del factor Lead Time y del factor Estructura del Producto, sobre los *Costos de Faltantes (BCR)*. Ver Anexo 16.



**Figura 46. Grafica de Medias para el Factor EP-LT y VR, BCR.**

Mediante la prueba de rangos múltiples, se confirma que para el factor LT, el contraste entre los niveles *LT0-LT1*, el contraste *LT0-LT2*, y en el contraste *LT1-LT2* se presentan diferencias significativas entre sus medias, y sin grupos homogéneos, igualmente, para los contrastes del factor EP resultantes entre los cinco niveles del factor se evidencian diferencias significativas en las medias para cada nivel de EP, con excepción del contraste *EP2-EP5* que presenta homogeneidad. Los resultados se reflejan en el Anexo 17, prueba de rangos múltiples para LT y EP.

Se puede observar también que el *Costo de Faltantes (BCR)* se incrementa para las estructuras EP2 y EP5 y el *Lead Time* opera en un nivel alto (*LT2*), para este caso cuando el Stroke de transporte, tiene una demora igual a dos periodos. De manera similar, el *BCR* disminuye en la medida que el tiempo de entrega cambia de nivel de *LT2* a *LT0* periodos. Si la tendencia de una disminución o incremento en los costos totales por cambio operados en el LT, se mantiene, se infiere entonces, que en la medida en que el tiempo de entrega (LT) se hace mayor o menor los *Costos de Faltantes* igualmente se incrementan o disminuyen según el caso. Por otro lado la estructura EP1, refleja el *BCR* más bajo, similarmente cuando el Tiempo de entrega se encuentra en el nivel *LT0*, o cuando el Stroke

de transporte, tiene una demora igual a cero periodos, se puede afirmar que el *Costo de Faltante* es bajo. Además, los “*Costos de Faltantes*”, representan con el 86,33% la mayor parte de los *Costos Totales*, una participación bastante alta, considerando que los Costos de Faltantes afectan significativamente el nivel de servicio. En el Anexo 11, se puede apreciar el porcentaje de participación de los *Costos de Faltante* sobre los *Costos Totales*.

### 5.9.5 Interacciones dobles para los factores EP y LT y la variable de respuesta “BCR”.

De los datos de interacciones dobles, para los factores “Estructura del producto” (Factor- A) y “Lead Time” (Factor B) se observa que estadísticamente resulta significativa la interacción AB, con un *valor-p* de 0,0000, menor que el nivel de significancia prefijado, igualmente resultan estadísticamente significativas las interacciones BC, con un *valor-p* = 0,0064, y la interacción BD, con un *valor-p* de 0,0000.

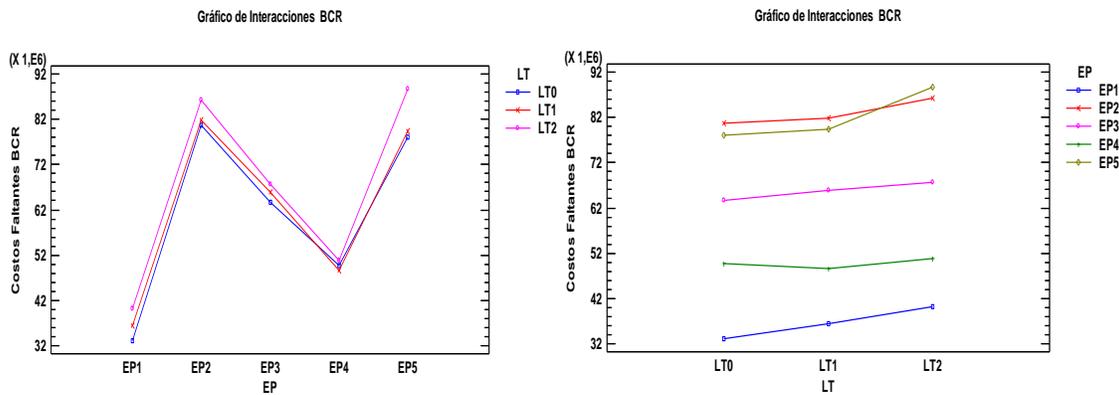


Figura 47. Interacción doble para el Factor LT, EP y la VR, BCR.

Se puede concluir también que de acuerdo a la significancia de los factores Lead Time (LT), y Estructura del Producto (EP) y el efecto de interacción (AB), ampliamente significativo para la variable de respuesta *BCR*, el costo más alto se observa para la estructura del producto EP5, y cuando el  $LT_0 = 0$  periodo, es decir la entrega se realiza justo a tiempo, se reflejan en costos más bajos por faltantes. Además cuando el Lead Time pasa del nivel bajo a un nivel alto ( $LT_0$  a  $LT_2$ ), esto es de dos periodos a cero periodos, el *Costo*

de *Faltantes* se incrementa para todas las estructuras, sin embargo la estructura EP1 experimenta una mayor variación en los *BCR* con el 24,5%(ver Anexo 18). De lo anterior puede afirmarse teóricamente, que la estructura EP1, es más sensible a la variación de los Lead Time (LT0 a LT2), para los *Costos de Inventario* y los *Costos de Faltantes*, representado en 86,36% de los *Costos Totales* (ver Anexo 11).

Con relación a la interacción del factor *Lead Time (LT)* y el factor *Comunalidad (CM)* Figura 44, el Costo de Faltante se incrementa de manera considerable cuando se trabaja con alta comunalidad en los materiales, independiente del tiempo de entrega para  $LT=0,1, \text{ o } 2$  periodos. De manera similar el *BCR* disminuye cuando los materiales tienen baja comunalidad, con una leve diferencia cuando el Tiempo de Entrega pasa del nivel LT0 a LT2.

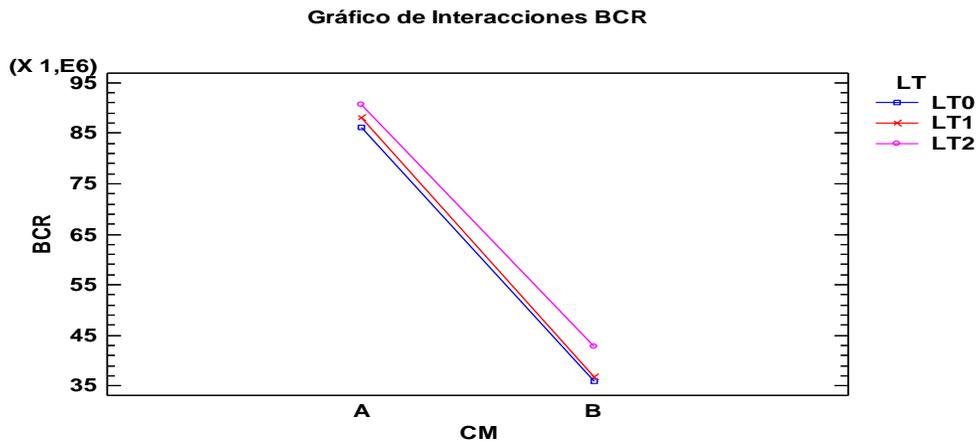


Figura 48. Interacción doble para el Factor LT, CM y la VR, BCR.

## 5.10 Análisis de Varianza para los “Costos de Stroke de Producción”(PCR)

### 5.10.1 Supuestos del modelo.

**Supuesto de Normalidad.** Basados en la prueba grafica de los residuos para la variable de respuesta *Costos de Producción (PCR)*, se observa que la distribución normal ajusta bien los datos de los residuos. Desde el punto de vista analítico el valor-p para la prueba de Shapiro-Wilk= 0,0518471 dado que el valor-p es mayor que 0,05 no se puede rechazar la hipótesis de que los residuos provienen de una distribución NORMAL. En la Figura 48 se registra como los residuos de la variable *PCR* se distribuyen normalmente,

considerando además que el comportamiento atípico de algunos residuos no afecta la normalidad de la variable. Ver Anexo 19(Datos atípicos)

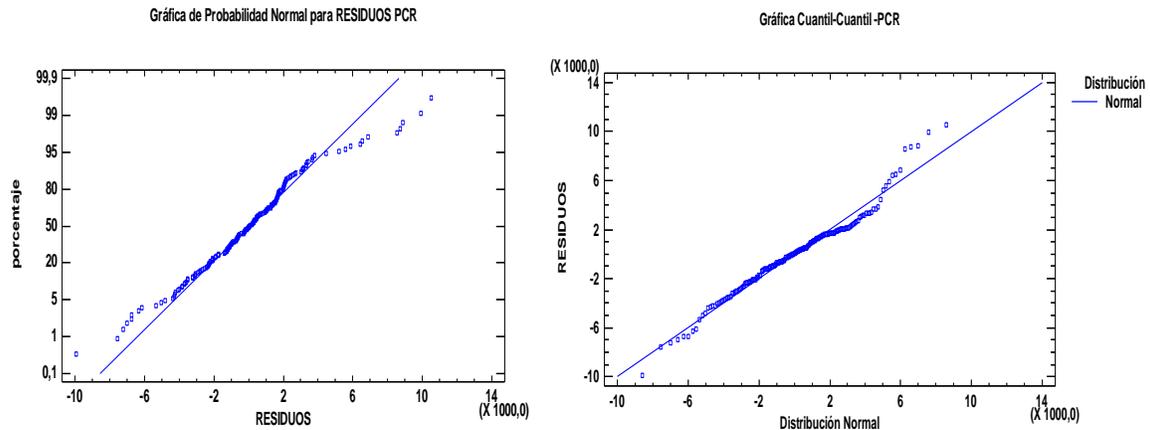


Figura 49. Grafica de Normalidad para residuos PCR

**Supuesto de varianza constante para PCR.** Como se aprecia en la Figura 49, de predichos y residuos, no se observa ningún patrón en la gráfica, este comportamiento, se toma como señal de que se cumple con el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza.

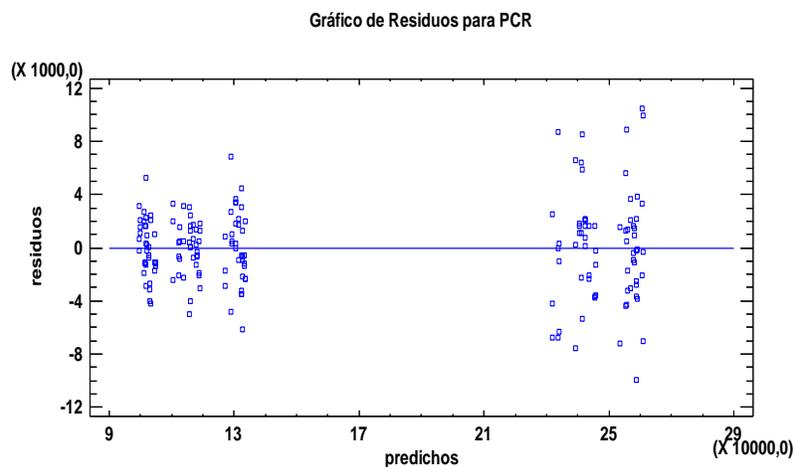


Figura 50. Predichos contra residuos para la variable, Costo de Stroke de Producción.

### 5.10.2 Supuesto de independencia para PCR.

De la Figura 50 que registra el orden en que se tomaron los datos contra los respectivos residuos, no se tiene evidencia de tendencia o patrón que este claramente

definido, por consiguiente no se identifica una correlación entre los errores y se confirma que el supuesto de independencia se cumple. Ver Anexo 20(Dispersión por factor).

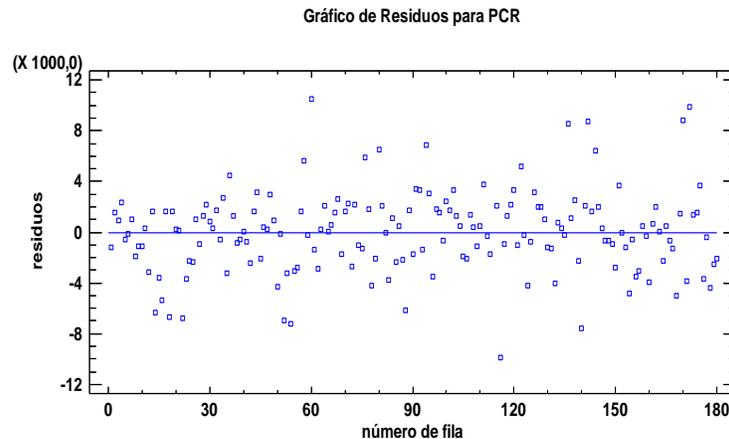


Figura 51. Orden de los datos contra residuos para el Factor, Costo Stroke de Producción.

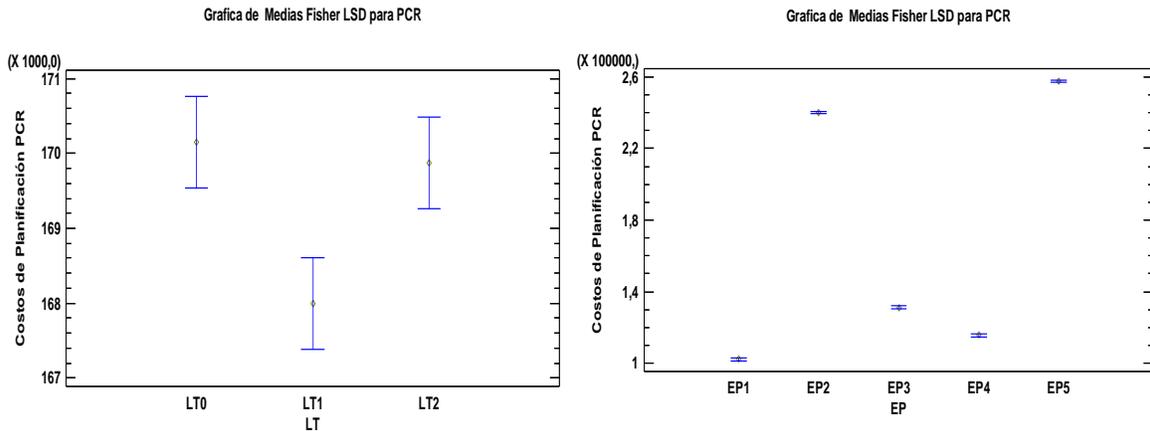
### 5.10.3 Resultados del análisis de varianza de la variable de respuesta “Costos de Stroke de Producción”.

Con base en los resultados que arroja la tabla ANOVA para la variable de respuesta “Costos de Producción” (PCR), Anexo 16, se muestra el *valor - p*, para cada uno de los cuatro efectos principales, EP, LT, CM y HD, los cuales resultan ser estadísticamente significativos o factores activos y con *valor - p* menor que el nivel de significancia prefijado. El factor LT, presenta un *valor - p* = 0,0000, paralelamente el factor EP, con *valor - p* = 0,0011, el factor CM, con un *valor - p* = 0,0001, y el factor HD, con un *valor - p* = 0,0000, respectivamente. Ver Anexo 23.

### 5.10.4 Análisis de medias para los factores “Estructura del producto (EP), el factor Lead Time (LT) y la variable de respuesta PCR.

Con base en el análisis de varianza para la variable de respuesta PCR y a la gráfica de medias de la Figura 51 se rechaza la Hipótesis nula  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_k$  para los factores EP, LT, CM y HD, y se acepta la hipótesis alternativa  $H_A : \mu_i \neq \mu_j$  para todo  $i \neq j$ , se puede concluir que estadísticamente no hay igualdad entre las medias poblacionales

para los diferentes niveles de los factores en estudio, por lo tanto el cambio de nivel del para los factores Lead Time y Estructura del Producto, impactan significativamente los *Costos de Stroke de Producción (PCR)*.



**Figura 52. Grafica de medias para el Factor LT y EP y la VR, PCR.**

Apoyados en la prueba de rangos múltiples, se confirma que para el factor LT, el contraste entre los niveles *LT0* y *LT1*, el contraste *LT0* y *LT2*, y en el contraste *LT1* y *LT2* se presentan diferencias significativas entre sus medias, sin embargo se refleja un grupo homogéneo en el contraste *LT0* y *LT2*, paralelamente, para los contrastes del factor EP resultantes entre los cinco niveles del factor se evidencian diferencias significativas en las medias para cada nivel de EP. Los resultados se reflejan en el Anexo 24, prueba de rangos múltiples para LT y EP.

De igual modo en la Figura 51 se puede afirmar que el *Costo de Producción (PCR)* más bajo se consigue con las estructuras EP1 y el costo más alto se presenta para las estructuras EP2 y EP5, cuando el *Lead Time* opera en un nivel bajo *LT0* o *LT2* (ver Anexo grupos homogéneos), que para este caso cuando el Stroke de transporte, tiene una demora igual a cero periodo. De manera similar, el *PCR* disminuye en la medida que el tiempo de entrega cambia de nivel de *LT0* a *LT1* periodos.

Por otro lado, los “*Costos de Stroke de Producción*” representan solo el 0,23% de los *Costos Totales*, una participación bastante baja, considerando que los Costos de producción están afectados por los parámetros de, costos de utilización del recurso y por

los tiempos de ciclo de las operaciones, todos estos parámetros afectan el Costo de *Stroke de Producción*, sin embargo es importante una revisión de estos costos para estructuras de productos con más niveles o explosiones de material más grandes, o diferentes índices de Gozinto. Es posible una revisión para indagar con más profundidad el impacto del tiempo de entrega en los *Costos de Producción* considerando parámetros reales de costos y verificando además otros que afecten el sistema. En el Anexo 11 se puede apreciar el porcentaje de participación de los *Costos de Producción* sobre los *Costos Totales*.

### 5.10.5 Análisis de las interacciones dobles para los factores EP, LT y la variable de respuesta “Costos de Stroke de Producción” (PCR).

De los datos de interacciones dobles, para los factores “Estructura del producto” (Factor- A) y “Lead Time” (Factor B) se observa en la Figura 52, que estadísticamente resulta no significativa la interacción AB, con un *valor - p* de 0,1781, mayor que el nivel de significancia prefijado, igualmente resultan estadísticamente no significativas las interacciones BC, con un *valor - p* de 0,7363, y la interacción BD, con un *valor - p* de 0,1645.

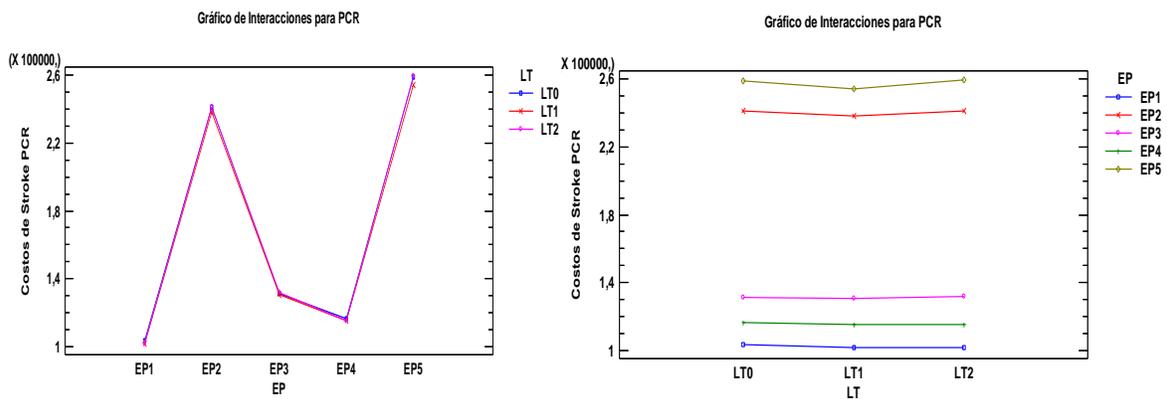


Figura 53. Interacción para el Factor LT, EP y la VR, PCR.

Se puede concluir también que a pesar de la significancia de los factores Lead Time (LT), y Estructura del Producto (EP), no existe efecto de interacción (AB), cualquier cambio en los tiempos de entrega de LT0 a LT2 no refleja variaciones en los *Costos de Producción*, para cualquiera de las estructuras de los productos. En resumen el *PCR* no presenta diferencias o variaciones para alguna de los niveles de cada estructura EP1, EP2,

EP3, EP4 o EP5, por operar con LT bajos o altos. Para ilustrar mejor, de la gráfica de Interacciones Figura 52, se puede observar que para la estructura EP1, el *Costo de Producción* en  $LT_0=1,03E+05$ , para  $LT_1=1,01E+05$ , y para  $LT_2$  el costo  $=1,02E+05$ , como se observa la variación más alta entre los diferentes niveles es solo del 1,5%, se corrobora entonces que los cambios de LT no inciden significativamente en los costos de los niveles de la EP1. Ver Anexo 25 Variabilidad de los costos de producción.

Por otro lado, el *Costo de Producción* más bajo se presenta en la estructura EP1 (Estructura pura de proceso), del mismo modo el costo de producción más alto se refleja para la estructura EP5, esta diferencia entre el costo más bajo y el costo más alto entre EP1 y EP5, constituye una variación del 152%.

Con relación a la interacción del factor *Lead Time (LT)* y el factor Comunalidad (CM), en el Anexo 25, se muestra la interacción BC con  $valor - p = 0,7363$ , de ello se deriva que esta interacción resulta no significativa, o que reflejo de cambios importantes en los *Costos de Producción* debido a las variaciones del factor LT, cuando se opera con comunalidad alta o baja.

## **5.11 Análisis de Varianza para los “Costos de Setup” (SCR).**

### **5.11.1 Supuestos del modelo.**

**Supuesto de Normalidad.** Nuevamente basándonos en la prueba gráfica de los residuos para la variable de respuesta *Costos de Setup (SCR)*, se observa que la distribución normal ajusta bien los datos de los residuos. Efectuando el análisis desde el punto de vista analítico se advierte que el valor-p para la prueba de Shapiro-Wilk  $= 0,605667$ , es mayor que 0,05 no se puede rechazar la hipótesis de que los residuos provienen de una distribución NORMAL. En la Figura 53 se observa el comportamiento de los residuos de la variable *BCR*, la cual se distribuyen normalmente, muy a pesar de algunos datos atípicos. Ver Anexo 27

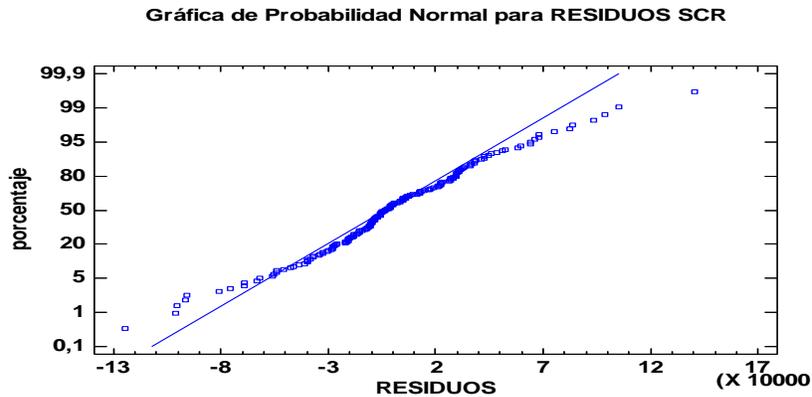


Figura 54 Gráfica de Normalidad para residuos SCR.

**Supuesto de varianza constante.** Como se registra en la Figura 54, predichos y residuos, no se observa ningún patrón en la gráfica de residuos para los *Costos de Setup* y se toma como señal de que se cumple con el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza.

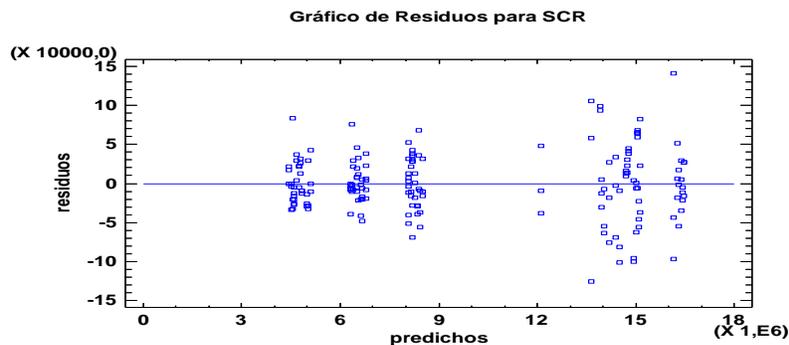


Figura 55. Predichos contra residuos para el Factor, Costo de Setup.

De la gráfica del Anexo 27, se refleja que los residuos para los factores, Estructura del Producto y Lead Time, para la variable de respuesta SCR, se confirma que existe alguna similitud en la dispersión que indican los datos, como breve conclusión se puede inferir que también se cumple también con el supuesto de que los tratamientos para este factor presentan igual varianza.

**Supuesto de Independencia.** De la Figura 55, que registra el orden en que se tomaron los datos contra los respectivos residuos, no se tiene evidencia de tendencia o patrón que este claramente definido, por consiguiente no se identifica una correlación entre

los errores y se confirma que el supuesto de independencia se cumple, para la variable *Costos de Setup*.

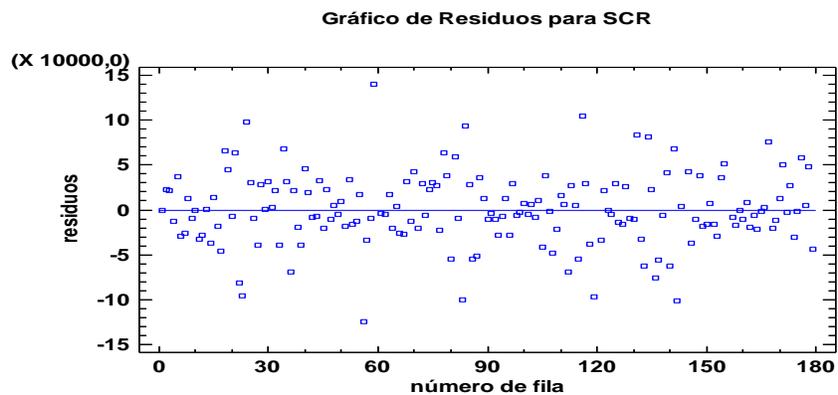


Figura 56. Orden de los datos contra residuos para el Factor, SCR.

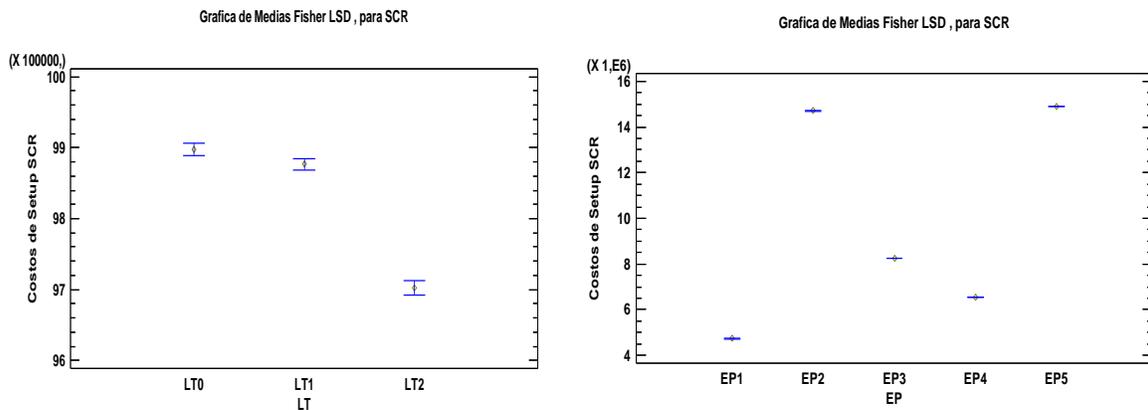
### 5.11.2 Resultados del análisis de varianza para la variable de respuesta “Costos de Setup”

Para la variable de respuesta *Costos de Setup* (SCR), en el Anexo 28, se muestra el ANOVA para los cuatro factores principales, de tal forma que el *valor-p*, para cada uno de los cuatro efectos principales de las variables, EP, LT, CM y HD, resultan ser estadísticamente significativos o factores activos con *valor-p* menor que el nivel de significancia prefijado. El factor LT, presenta resultados con un *valor-p* = 0,0000, igualmente para los factores EP, con *valor-p* = 0,000, para el factor CM el *valor-p* = 0,0000, y para el factor HD, el *valor-p* = 0,0000, respectivamente.

### 5.11.3 Análisis de medias para los factores “Estructura del producto” (EP), el factor Lead Time (LT) y la variable de respuesta SCR.

De acuerdo al análisis de varianza para la variable de respuesta SCR y a la gráfica de medias de la Figura 56, se rechaza la Hipótesis nula  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$  para los factores EP, LT, CM y HD, y se acepta la hipótesis alternativa  $H_A : \mu_i \neq \mu_j$  para todo  $i \neq j$ , se puede concluir que estadísticamente no hay igualdad entre las medias poblacionales para los diferentes niveles de los factores en estudio, se corrobora entonces que existe un

impacto significativo por cambio de nivel de los factores Lead Time y del factor Estructura del Producto, sobre los *Costos de Setup (SCR)*.



**Figura 57. Grafica de medias para el Factor LT y EP y la VR, SCR.**

Se confirma que para el factor LT, y sus diferentes contrastes (*LT0* y *LT1*), (*LT0* y *LT2*) y (*LT1* y *LT2*), existe una diferencia significativa entre la medias. De igual manera en el analisis para el factor EP, los contrastes resultantes entre los cinco niveles del factor, se evidencian diferencias significativas en las medias para cada uno de esos contrastes, paralelamente no se registran grupos homogéneos. Los resultados se reflejan también en el Anexo 29 de rangos múltiples.

Se deduce también que los *Costos de Setup(SCR)* más bajos se presentan cuando se opera con la Estructura pura de proceso (*EP1*) y el Lead Time se encuentra en el nivel (*LT2*), para este caso cuando el Stroke de transporte, tiene una demora igual a dos periodos. Por otro lado el SCR se incrementan en el nivel *EP5* y *EP2*, y para cuando el Lead Time se encuentra en el nivel *LT0*, esto corresponde, cuando el Stroke de transporte tiene un tiempo de entrega igual a dos periodos.

Se concluye entonces que un cambio de nivel en los Tiempos de Entrega, de cero a dos periodos se refleja en una disminución en los *Costos de Setup SCR*, principalmente para las estructuras de productos *EP1* y *EP4*, los cuales representan los *Costos de Setup más bajo*. Los resultados se aprecian en la Figura 56. Se infiere también que en la medida que los Tiempos de Entrega se incrementen se refleja en una disminución de los *Costos de Setup*, los cuales representan el 13,4% de los costos totales.

En resumen, una reducción en los tiempos de entrega, se traduce en una disminución para los *Costos de Faltantes* y los *Costos de Setup*, los cuales representan dentro de los *Costos Totales* el 99,77%. Ver Anexo 11 y 12.

#### 5.11.4 Análisis de las interacciones dobles para los factores EP, LT y la variable de respuesta “Costos de Setup” (SCR).

De los datos de interacciones dobles, para los factores “Estructura del producto” (Factor- A) y “Lead Time” (Factor B) se observa que estadísticamente resulta también significativa, la interacción AB, con un *valor - p* de 0,000, menor que el nivel de significancia prefijado, igualmente resulta significativa la interacción relacionada con el factor Lead time BC, con *valor - p* = 0,0033, y la interacción BD, con *valor - p* = 0,00, mayor que el nivel de significancia prefijado.

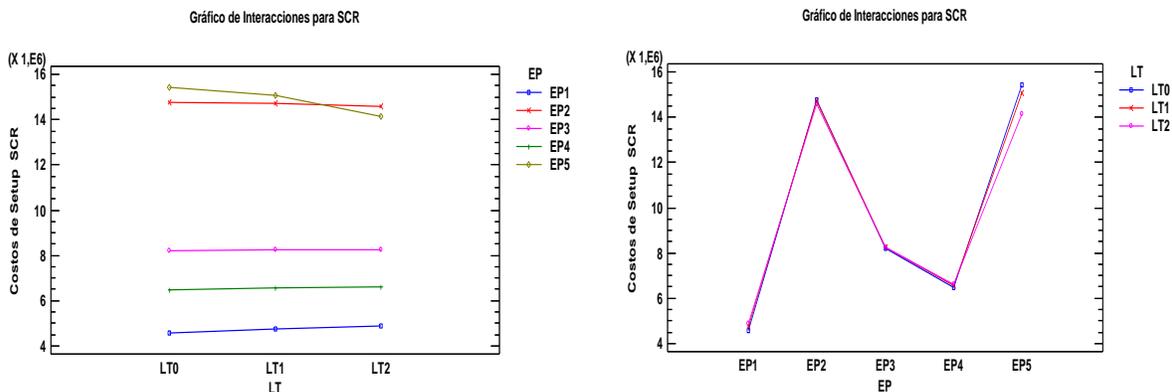


Figura 58. Interacción para el Factor LT y EP y la VR, SCR.

Se puede concluir también que de acuerdo a la significancia de los factores Lead Time (LT), y Estructura del Producto (EP) y el efecto de interacción (AB), cuando se amplían los plazos de entrega (LT0 a LT2), esto es de cero a dos periodos, se evidencia que esta interacción afecta más a la estructura EP5 con una variación en los *Costos de Setup* del 9,8% por cambio de nivel del LT, y una variación muy leve para el resto de estructuras, cuando se amplía o se reduce el *Tiempo de Entrega*. En resumen la variación en los tiempos de entrega, tienen muy poco o ningún impacto sobre las estructuras EP1, EP2, EP3 o EP4 (ver Anexo 30).

De lo anterior puede afirmarse teóricamente también, que la estructura EP5, es más sensible a la variación de los Lead Time (LT0 a LT2), para los *Costos de Stroke de Producción* y los *Costos de Setup*, los cuales representan solo el 13,64% de los *Costos Totales* (ver Anexo 11).

Con relación a la interacción del factor *Lead Time (LT)* y el factor Comunalidad (CM), el valor  $-p= 0,0033$ , menor que el nivel de significancia prefijado (Anexo 28) se observa que las variaciones en el LT, tienen un impacto leve sobre los costos de setup cuando se trabaja con alta o baja comunalidad para los materiales. Por otro lado cuando se trabaja con Comunalidad Baja (CMB), la variación en los SCR cuando el Lead Time cambia de LT0 a LT2 es solo del 2,1% y de 1,9% para Comunalidad Alta (CMA).

Por otro lado, puede confirmarse que el Costo de Setup es más bajo cuando se trabaja con Comunalidad Alta, se reduce paulatinamente cuando el LT pasa de LT0 a LT2, esto es, el tiempo de entrega se incrementa de cero a dos periodos. Se infiere entonces que en la medida en que el número de materiales en la Estructura del Producto se reduce, el *Costo de Setup* también disminuye.

En este mismo contexto y basándonos en la interacción entre el factor LT y comunalidad, se puede observar que en la medida en que los plazos de entrega se incrementan pasando de cero a dos periodos de demora en la entrega por parte del proveedor, entonces los Costos de Setup tienden a decrecer ya sea para materiales con *Alta Comunalidad* o *Baja Comunalidad*. De manera similar el SCR se incrementa, cuando el Tiempo de Entrega pasa del nivel LT0 a LT2, independientemente si los materiales tienen baja o alta comunalidad. En ese mismo sentido se registra en la gráfica de interacciones, Figura 58, que teóricamente cuando los materiales presentan *Alta Comunalidad* los SCR son más bajos, que cuando se trabaja con productos que operan con *Baja Comunalidad* en los materiales.

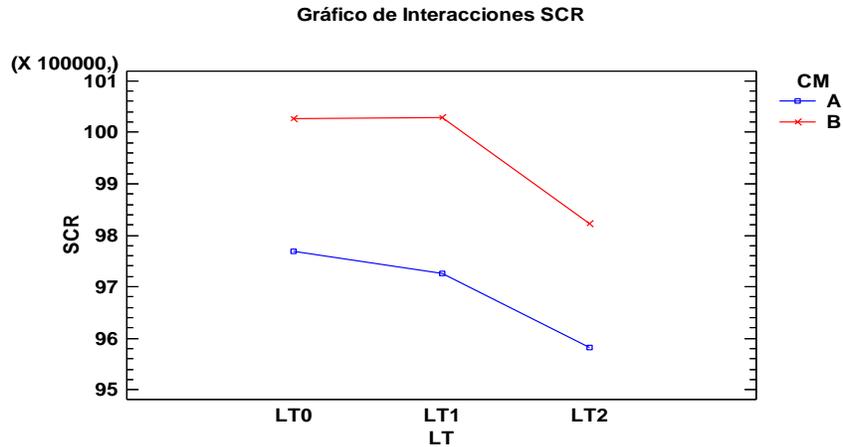


Figura 59. Interacción para el Factor LT y CM y la VR, BCR.

## 5.12 Análisis de varianza para la “Complejidad del Sistema”(HSR)

### 5.12.1 Supuestos del modelo.

**Supuesto de Normalidad.** Basados en la prueba grafica de los residuos para la variable de respuesta *Costos de Inventario (HSR)*, se observa que la distribución normal ajusta bien los datos de los residuos. Desde el punto de vista analítico el valor-p para la prueba de Shapiro-Wilk= 0,660097 debido a que el *valor-p* es mayor que 0,05 no se puede rechazar la hipótesis de que los residuos provienen de una distribución NORMAL. En la Figura 59 se observa el comportamiento de los residuos de la variable *HSR* se distribuyen normalmente, muy a pesar de algunos datos atípicos. (Ver Anexo 31).

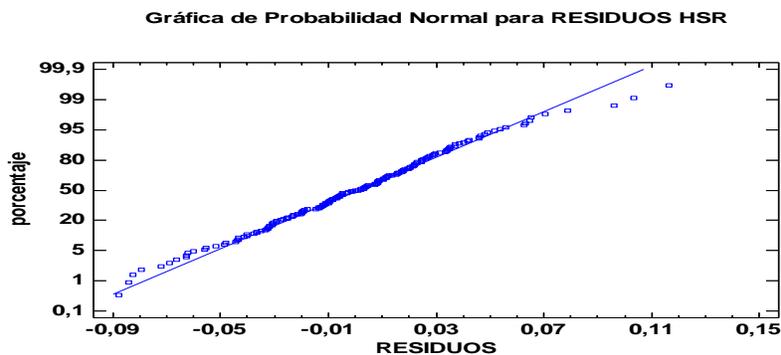
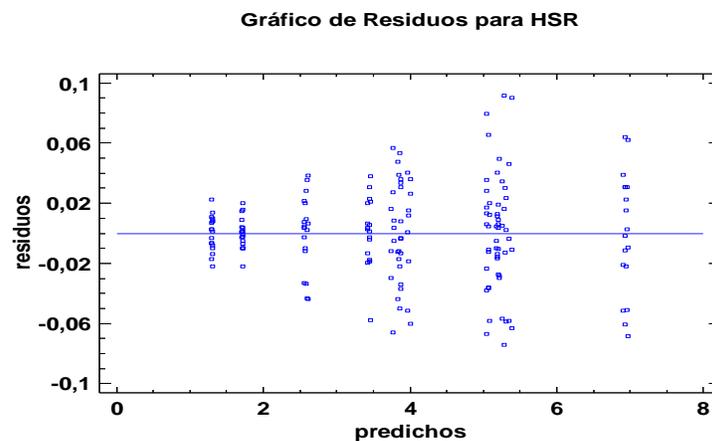


Figura 60. Grafica de Normalidad para residuos HSR.

**Supuesto de varianza constante.** Como se aprecia en la Figura 60, predichos y residuos, no se observa ningún patrón, se toma como señal de que se cumple con el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza.

En el Anexo 33, se muestra la gráfica de los residuos para los factores, *Estructura del Producto* y Lead Time para la variable de respuesta *HSR*, se confirma que existe alguna similitud en la dispersión que indican los datos, por consiguiente se cumple también con el supuesto de que los tratamientos para este factor presentan igual varianza.



**Figura 61. Predichos contra residuos para el Factor, HSR.**

### **5.12.2 Supuesto de independencia.**

De la Figura 61, la cual registra el orden en que se tomaron los datos contra los respectivos residuos, no se tiene evidencia de tendencia o patrón que este claramente definido, se advierte entonces que no se identifica una correlación entre los errores y se confirma que el supuesto de independencia se cumple para la variable *Complejidad del Sistema* (HSR).

### **5.12.3 Análisis de varianza de la variable de respuesta “Complejidad del Sistema”.**

Con base en los resultados de la variable de respuesta “*Complejidad*” (HSR), en el Anexo 33, se muestra el ANOVA para los cuatro factores principales, de tal forma que

él *valor-p*, para cada uno de los factores principales, *EP*, *LT*, *CM* y *HD*, resultan ser estadísticamente significativos o factores activos con *valor-p* menores que el nivel de significancia prefijado.

El factor *LT*, presenta resultados con un *valor-p*=0,0000, igualmente para los factores *EP*, el *valor-p*=0.0045, para el factor *CM*, el *valor-p*=0,0000, y para el factor *HD*, el *valor-p*=0,0000, respectivamente.

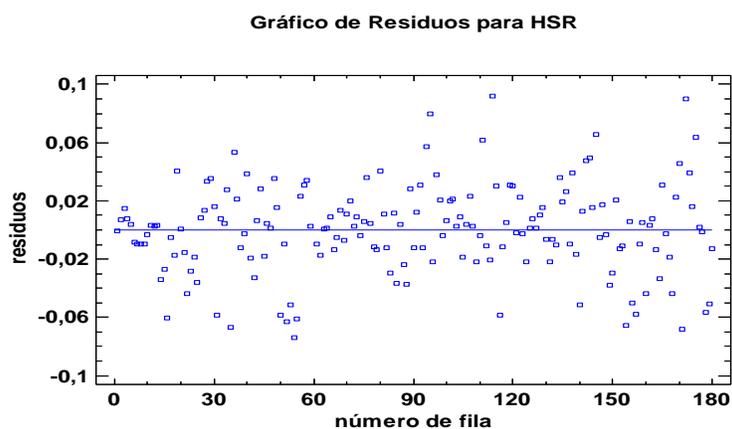


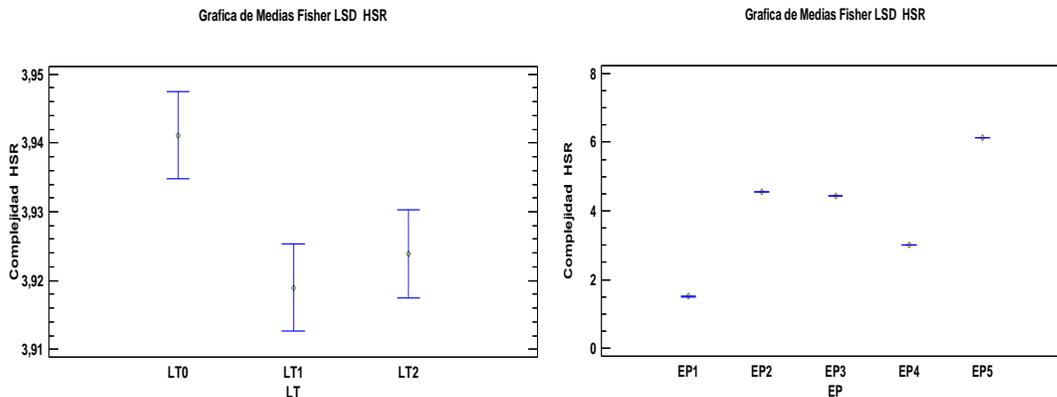
Figura 62. Orden de los datos contra residuos para el Factor, *HSR*.

#### 5.12.4 Análisis de medias para los factores *EP*, *LT* y la variable de respuesta *HSR*.

De igual modo en el análisis de varianza para la variable de respuesta *HSR* y a la gráfica de medias de la Figura 62 se rechaza la Hipótesis nula  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_k$  para los factores *EP*, *LT*, *CM* y *HD*, y se acepta la hipótesis alternativa  $H_A : \mu_i \neq \mu_j$  para todo  $i \neq j$ , se puede concluir desde un punto de vista estadístico que no hay igualdad entre las medias poblacionales para los diferentes niveles de los factores en estudio, se corrobora entonces él un impacto significativo por cambio de nivel del factor Lead Time y del factor Estructura del Producto, sobre la variable *Complejidad del Sistema(HSR)*.

Para ilustrar mejor lo anterior nos basamos en la prueba de rangos múltiples y la variable de respuesta *HCR*, se desprende entonces que para el factor *LT*, el contraste entre

los niveles *LT0* y *LT1*, el contraste *LT0* y *LT2*, se presenta un grupo homogéneo indicando que este par de tratamientos tienen medias muy similares. Ver Anexo 36.



**Figura 63. Grafica de medias para el Factor LT y EP y la VR, HSR.**

El efecto de este par de tratamiento sobre la variable de *Complejidad*, es muy similar, cuando el tiempo de entrega varía de *LT1* a *LT2*. Paralelamente, para los contrastes entre los cinco niveles del factor EP, se evidencian diferencias significativas en las medias para cada nivel de EP. Los resultados se reflejan en el Anexo 34, prueba de rangos múltiples para LT y EP. De estos resultados se deriva también que la *Complejidad del Sistema* se incrementa cuando se opera con la Estructura pura de proceso (*EP5*) y el *Lead Time* se encuentra en el nivel (*LT0*), para este caso cuando el *Stroke* de transporte, tiene una demora igual a cero periodos. Por otro lado *HSR* disminuye en el nivel *EP1*, y el *Lead Time* se encuentra en el nivel (*LT2*), esto corresponde, cuando el *Stroke* de transporte tiene un plazo de entrega igual a dos periodos.

Se concluye entonces que una variación en los Tiempos de Entrega, de *LT2* a *LT0*, se refleja en un impacto significativo aumentando la *Complejidad del Sistema*, principalmente para la estructura de productos *EP5*. Por otro lado *HSR* disminuye en el nivel *EP1*, esto corresponde a un tiempo de entrega en el nivel *LT0*, lo que es igual, cuando el *Stroke* de transporte, se realiza justo a tiempo. Los resultados se aprecian en la Figura 62.

Se infiere entonces, que en la medida que el Tiempo de Entrega se reduce, se refleja en un incremento en la “*Complejidad del Sistema*”, considerando que el cálculo de la

complejidad guarda relación con el Setup, con la producción, el tiempo ocioso y los recursos disponibles.

### 5.12.5 Análisis de las interacciones dobles para los factores EP y LT y la variable de respuesta “Complejidad del Sistema” (HSR).

De los datos de interacciones dobles, Anexo 34 para los factores “Estructura del producto” (Factor- A) y “Lead Time” (Factor B) se observa que estadísticamente resulta no significativa la interacción AB, con un  $valor - p = 0,2314$ , mayor que el nivel de significancia prefijado, igualmente resultan estadísticamente no significativas las interacciones BC y BD, con  $valor - p$  mayores también que el nivel de significancia prefijada.

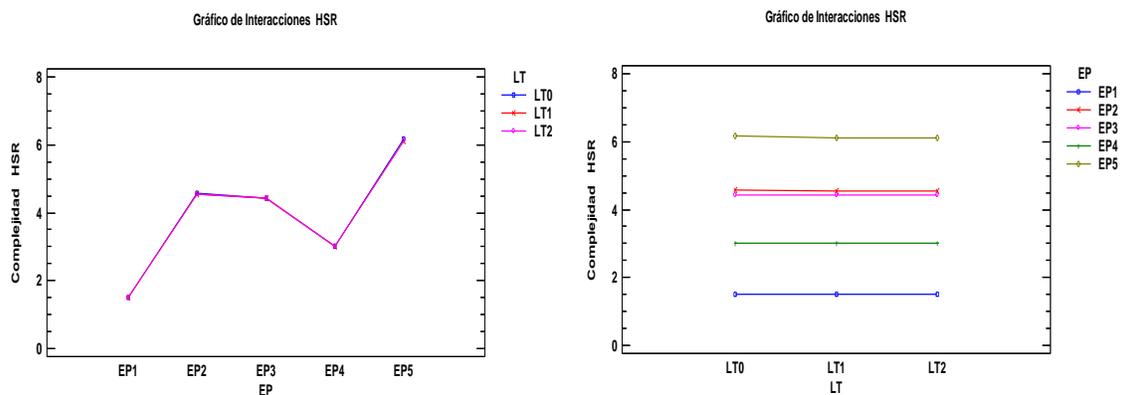


Figura 64. Interacción para el Factor LT y EP y la VR, HSR.

Se puede concluir también, que a pesar de la falta de interacción entre los factores AB, Figura 63, para la variable de respuesta *HSR*, la complejidad del sistema es mayor para la estructura del producto EP5 y la *HSR* más baja se experimenta con el nivel de la estructura EP1, independientemente del nivel donde opere el Tiempo de Entrega. En resumen la variación en los plazos de Entrega o del LT no afecta la *Complejidad del Sistema* para cualquiera de las *Estructura de los Productos*.

De acuerdo a la gráfica de interacción para los factores *Lead Time (LT)* y el factor Comunalidad (CM), se infiere entonces que la interacción BC, resulta significativa con un  $valor - p$  mayor que el nivel de significancia (ver Anexo 35), se infiere entonces que las

variaciones del Lead Time no afectan de manera significativa la complejidad del sistema pero cuando se trabaja con alta o baja Comunalidad.

## 5.13 Análisis de Varianza para el Nivel de Servicio (NSR)

### 5.13.1 Supuestos del modelo.

**Supuesto de Normalidad.** De acuerdo a la gráfica de residuos para la variable de respuesta NSR, se observa que la distribución normal ajusta bien los datos. Desde el punto de vista analítico el valor-p para la prueba de Shapiro-Wilk= 0,489357(ver Anexo 37) debido a que el valor-p es mayor que 0,05 no se puede rechazar la hipótesis de que los residuos provienen de una distribución normal. En la Figura 64 se observa que el comportamiento de los residuos de la variable NSR se distribuye normalmente, muy a pesar de algunos datos atípicos. Ver Anexo 38

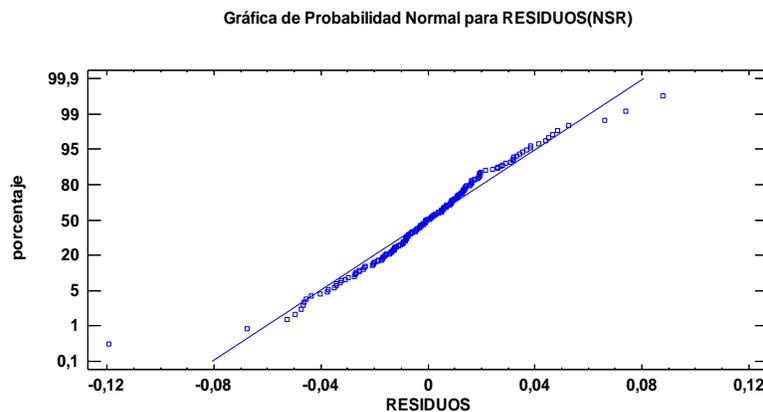
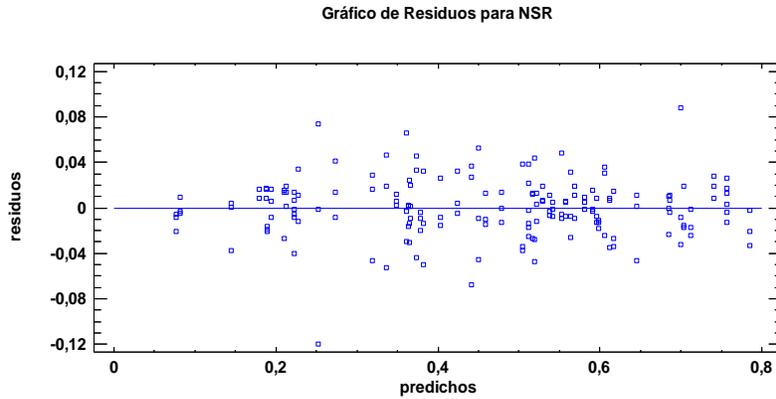


Figura 65. Grafica de Normalidad para residuos NSR.

**Supuesto de varianza constante.** Como se aprecia en la Figura 65, predichos y residuos, no se observa ningún patrón en la gráfica de residuos y predichos, se toma como señal de que se cumple con el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza.

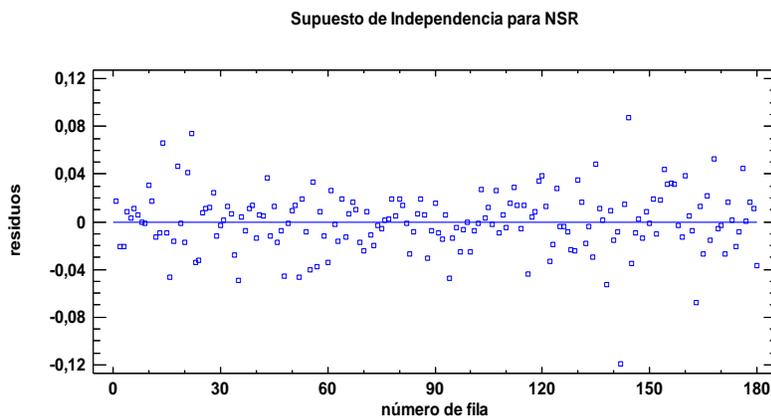


**Figura 66. Predichos contra residuos para, NSR.**

En el Anexo 39, se muestra la gráfica de los residuos para los factores, Estructura del Producto y Lead Time para la variable de respuesta *NSR*, se constata que existe alguna similitud en la dispersión que indican los datos, por consiguiente se cumple también con el supuesto de que los tratamientos para este factor presentan varianza similar.

### 5.13.2 Supuesto de independencia(NSR)

De la Figura 66 que registra el orden en que se tomaron los datos contra los respectivos residuos, no se tiene evidencia de tendencia o patrón que este claramente definido, se corrobora entonces que no se identifica una correlación entre los errores se puede afirmar que el supuesto de independencia se cumple.



**Figura 67. Orden de los datos contra residuos para, NSR.**

### 5.13.3 Análisis de varianza de la variable de respuesta “Nivel de Servicio” (NSR).

De los resultados de la tabla Anova para la variable de respuesta NSR, Anexo 40, se observa que el *valor - p*, para cada uno de los cuatro variables principales, resultan ser estadísticamente significativos o factores activos y mayores que el nivel de significancia prefijado. El factor LT, presenta resultados con un *valor - p* = 0,0000, igualmente para los factores EP, con *valor - p* = 0,000, el factor CM, con un *valor - p* = 0,0022, y el factor HD, con un *valor - p* = 0,0000, respectivamente.

### 5.13.4 Análisis de medias para los factores LT, EP, y la variable de respuesta NSR.

Con base en el análisis de varianza para la variable de respuesta NSR y a la gráfica de medias de la Figura 67 se rechaza la Hipótesis nula  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots, \mu_k$  para los factores EP, LT, CM y HD, y se acepta la hipótesis alternativa  $H_A : \mu_i \neq \mu_j$  para todo  $i \neq j$ , se puede concluir que estadísticamente no hay igualdad entre las medias poblacionales para los diferentes niveles de los factores en estudio, por consiguiente existe un impacto significativo por cambio de nivel del factor Lead Time y del factor Estructura del Producto, sobre el Nivel de Servicio(NSR)

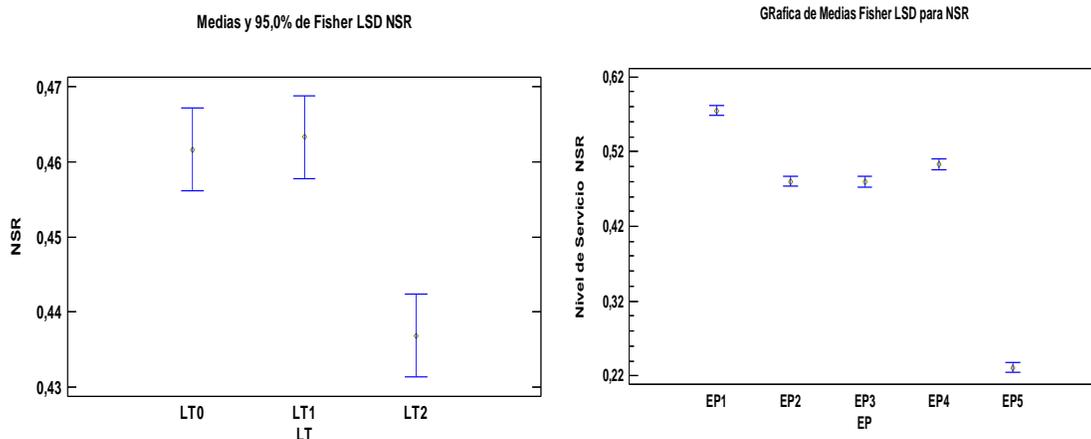


Figura 68. Grafica de medias para el Factor LT y EP y la VR, NSR.

Con base en la diferencia de medias para el factor LT, se confirma que en el análisis de los contrastes *LT0* y *LT1*, no se presentan diferencias significativas, se infiere que este par de tratamientos tiene el mismo resultado en el nivel de servicio. Sin embargo para los contrastes (*LT0* y *LT2*), (*LT1* y *LT2*) se presentan diferencias significativas y sin que se reflejen grupos homogéneos para este par de contrastes. De igual manera en el análisis para el factor EP, los contrastes resultantes entre los cinco niveles del factor, se evidencian diferencias significativas para alguno de los contrastes, sin embargo el contraste para las estructuras EP2 y EP3, resultara no significativo. Ver Anexo 41

Se deduce también que el “*Nivel de Servicio*” presenta un mejor desempeño cuando se opera con la estructura pura de ensamble (EP1) y el Lead Time, presenta una demora de cero o un periodo. Por otro lado, el desempeño para el *Nivel de Servicio* disminuye, cuando se opera con la estructura pura de proceso (EP5) y los plazos de entrega (LT) se amplían hasta el nivel más alto (*LT2*).

Se puede inferir también que los incrementos en los tiempos de entrega afectan de manera negativa el nivel de servicio, Expresándolo de manera diferente se concluye que si se mantiene una tendencia de disminución en los LT o en los Stroke de compra, las entregas se realizan justo a tiempo, se refleja en un incremento en el nivel en el *Nivel de Servicio*. Ahora bien, si se reduce el Lead Time o las entregas se realizan justo a tiempo (*LT0*), implica también un incremento en los *Costos del Inventario*. Ver Figura 67.

Para resumir, cualquier variación en los LT como aumento, disminuye los *Costos de Inventario*, pero afecta el *Nivel de Servicio*, por el contrario una disminución en los LT, contribuye a mejorar el Nivel de Servicio, pero incrementa los Costos de Inventario.

#### **5.13.5 Interacciones dobles para los factores EP y LT y la variable de respuesta NSR.**

De los datos de interacciones dobles, Anexo 39 para los factores LT y EP se observa que estadísticamente resulta significativa la interacción AB, con un *valor – p* de 0,0000, menor que el nivel de significancia prefijado (Figura 68), igualmente resultan

estadísticamente significativas las interacciones BC, con un *valor - p* de 0,0000, y no significativa la interacción BD, con un *valor - p* de 0,4300.

De los resultados de significancia de este factor y de las interacciones dobles AB y BC, que resultaran activas, se concluye que un cambio de nivel del factor Lead Time de LT0 a LT2, tiene un impacto negativo leve en el “*Nivel de Servicio*” para la estructuras del producto EP1 a EP4.

El mejor nivel de servicio se observa en la EP1, cuando el LT es bajo, pero en la medida en que el tiempo de entrega se incrementa o cambia del nivel LT0 a LT2, el Nivel de Servicio disminuye paulatinamente para las otras estructuras.

De igual modo el Nivel de Servicio más bajo se registra para la estructura EP5 (Estructura pura de proceso) con variaciones muy leves, cuando el LT cambia de nivel. Esta interacción se observa en la Figura 68

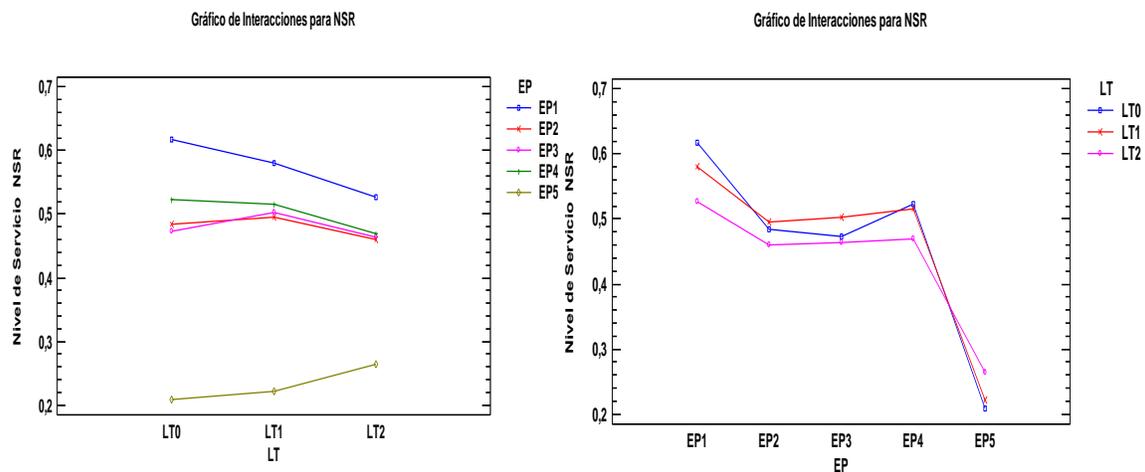


Figura 69. Interacción para el Factor LT y EP y la VR, NSR.

Con relación a la interacción del factor *Lead Time (LT)* y el factor *Comunalidad (CM)* Figura 69, el *Nivel de Servicio* presenta mejor comportamiento cuando se trabaja con *Baja Comunalidad* en los materiales en la medida que el tiempo de entrega se hace cero, o sea pasa de LT2 a LT0. Sin embargo si el LT se incrementa a dos periodos (LT2), se tiene

entonces que el nivel de servicio presenta de forma moderada un mejor comportamiento cuando los materiales presentan *Alta Comunalidad*.

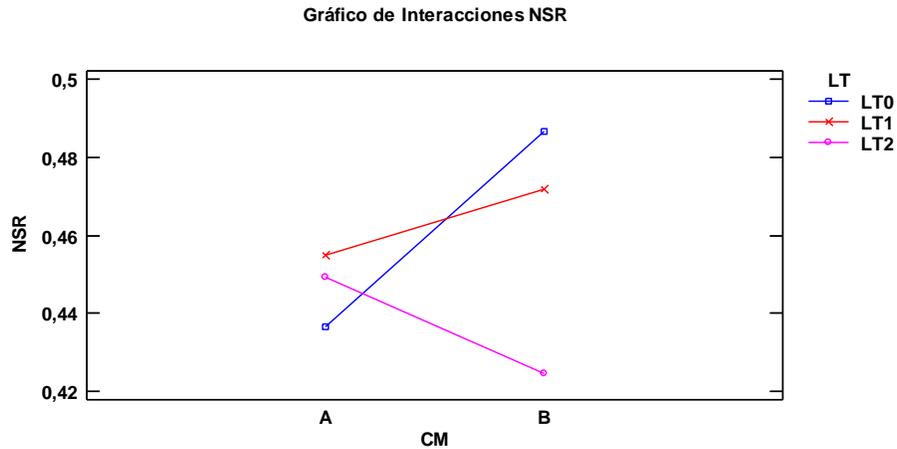


Figura 70. Interacción para el Factor LT , CM y la VR, NSR.

## 5.14 Análisis de Varianza para el “Nerviosismo del Sistema”(ISR)

### 5.14.1 Supuestos del modelo.

**Supuesto de Normalidad.** De acuerdo a la gráfica de residuos para la variable de respuesta ISR, se observa que los datos no se ajustan a una distribución Normal

Desde el punto de vista analítico el valor-p, para la prueba de Shapiro-Wilk= 0,0000, debido a que el valor-p es menor que 0,05 no se puede aceptar la hipótesis de que los residuos provienen de una distribución NORMAL. En la Figura 70 se observa que el comportamiento de los residuos de la variable ISR no se distribuye normalmente, ocasionado por los resultados o datos atípicos en el problema. Con base en ello y de la Figura 71, caja y bigote se identifican los datos atípicos del problema, para su replanteamiento.

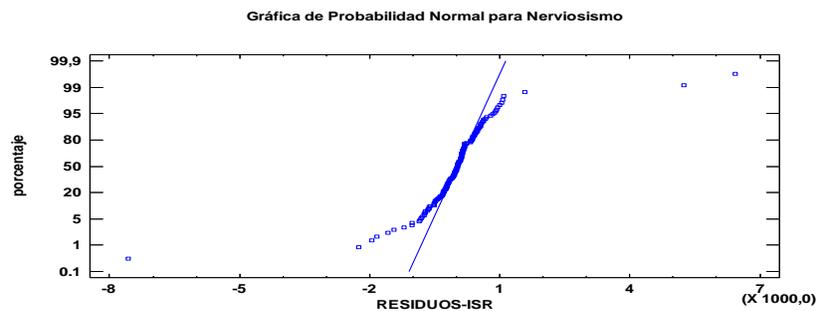


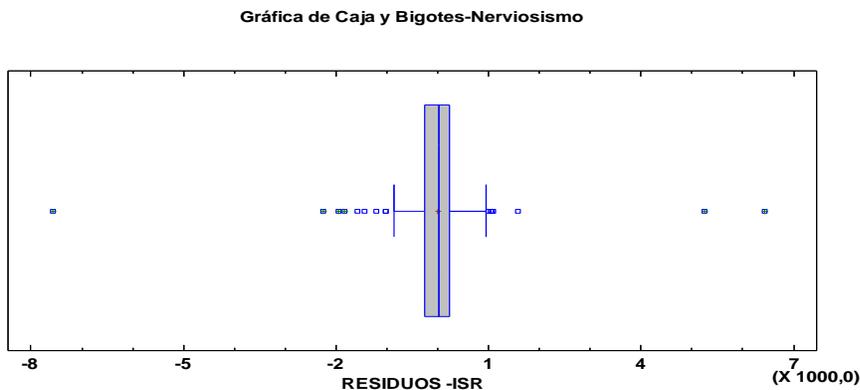
Figura 71. Prueba de Normalidad para residuos ISR.

**Resumen Estadístico para Residuos de ISR.** Las medidas de interés para corroborar que los datos de la variable ISR, provienen de una distribución normal, se verifica mediante el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, Los valores estadísticos para este rango deben estar entre 2 y -2. De acuerdo a los datos de la tabla 33 se comprueba que el sesgo se encuentra dentro los parámetros establecidos, Sin embargo la curtosis viola el rango establecido para asumir que los datos provienen de una distribución normal.

**Tabla 35 Resumen estadístico para residuos**

Observaciones	Datos
Recuento	180
Promedio	-0,0000483778
Desviación estándar	995,853
Coefficiente de variación	-2,05849E9%
Mínimo	-7572,13
Máximo	6426,12
Rango	13998,3
Sesgo estandarizado	-1,55749
Curtosis estandarizada	85,6665

De acuerdo a los datos y a la violación del supuesto de normalidad, de la Figura 71, caja y bigote se identifican los datos atípicos y datos aberrantes (máximo fila 36, igual a -7,60367 desviaciones estándar) del problema, para su ajuste y reemplazo mediante Statgraphics.



**Figura 72. Caja y bigote para residuos de la variable ISR.**

### Datos Atípicos para la variable Nerviosismo (ISR).

Con base en la violación supuesto de Normalidad para la variable Nerviosismos del Sistema, se efectúan se pruebas de ajuste, transformando los datos de la variable ISR con el fin de validar el supuesto de normalidad. En la tabla 34 se muestran los datos atípicos y aberrantes de los residuos para la variable ISR.

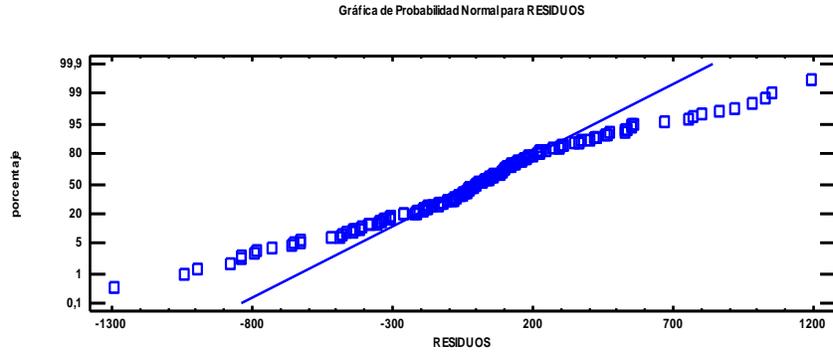
Tabla 36 Datos atípicos para ISR

Fila	Residuo	Dato
36	-7430,33	11990
60	-2067,00	19535
156	6567,92	25898
155	6043,02	25878
64	1949,92	30794
40	-177,33	22666
131	-177,33	22666

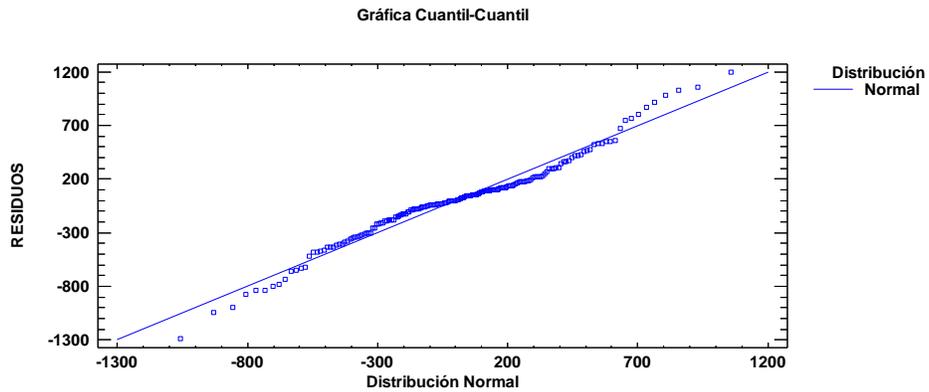
### 5.15 Análisis de Varianza de la variable “Nerviosismo” (ISR).

#### 5.15.1 Supuestos del modelo.

**Supuesto de Normalidad.** Basados en la prueba grafica de los residuos para la variable de respuesta *Nerviosismo (ISR)*, se observa que la distribución normal ajusta bien los datos de los residuos. Desde el punto de vista analítico el valor-p para la prueba de Shapiro-Wilk= 0,0599759 debido a que el valor-p es mayor que 0,05 no se puede rechazar la hipótesis de que los residuos provienen de una distribución NORMAL. En la Figura 71 se observa el comportamiento de los residuos para la variable *ISR* se distribuyen normalmente, a pesar de que aún se presentan datos atípicos, como se muestra en el Anexo 46 gráfica de caja y bigote, pero estos no afectan en la normalidad de la variable. Ver también anexo32 de datos aberrantes.

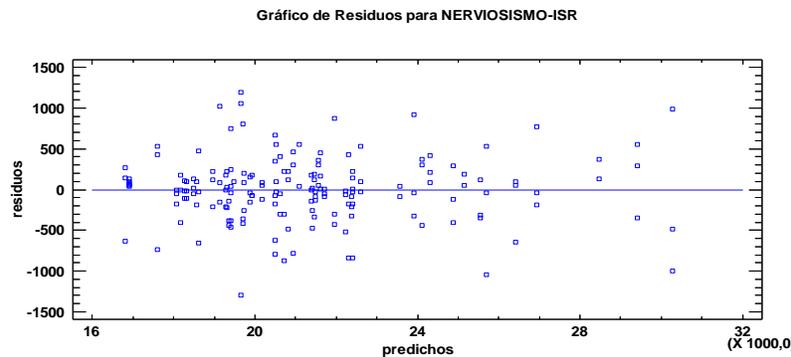


**Figura 72. Prueba de Normalidad para residuos ISR.**



**Figura 73. Prueba de Normalidad Cuantil-Cuantil para ISR.**

**Supuesto de varianza constante.** Como se aprecia en la Figura 74, predichos y residuos, no se observa ningún patrón en la gráfica de residuos para la variable *Nerviosismo del Sistema* y se toma como señal de que se cumple con el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza.



**Figura 74. Supuesto de varianza para ISR.**

En el Anexo 47, se muestra la gráfica de los residuos para los factores, Estructura del Producto y Lead Time para la variable de respuesta *ISR*, se constata que existe alguna similitud en la dispersión que indican los datos, por consiguiente se cumple también con el supuesto de que los tratamientos para este factor presentan igual varianza.

### Supuesto de independencia.

De la Figura 75 que registra el orden en que se tomaron los datos contra los respectivos residuos, no se tiene evidencia de tendencia o patrón que este claramente definido, se corrobora entonces que no se identifica una correlación entre los errores se puede afirmar que el supuesto de independencia se cumple.

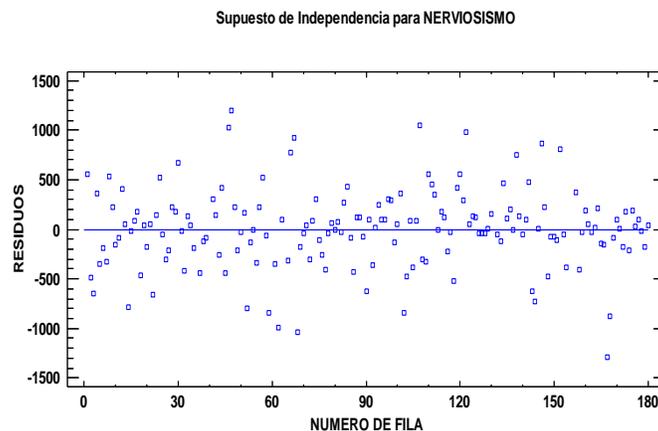
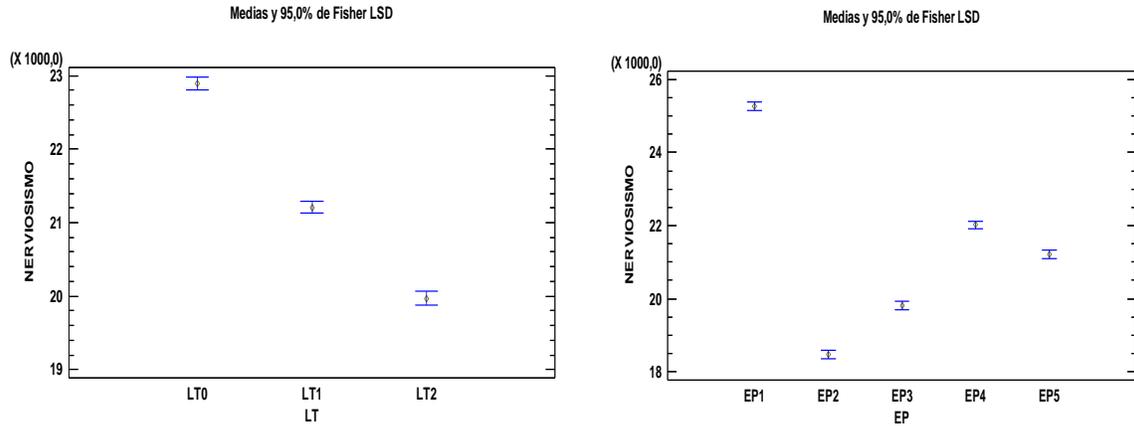


Figura 75. Supuesto de Independencia para ISR

### 5.15.2 Analisis de medias para los factores LT, EP y la VR *ISR*.

Con base en el análisis de varianza para la variable de respuesta *ISR* y a la gráfica de medias de la Figura 67 se rechaza la Hipótesis nula  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_k$  para los factores *EP*, *LT*, *CM* y *HD*, y se acepta la hipótesis alternativa  $H_A : \mu_i \neq \mu_j$  para todo  $i \neq j$ , se puede concluir que estadísticamente no hay igualdad entre las medias poblacionales para los diferentes niveles de los factores en estudio, por consiguiente existe un impacto significativo por cambio de nivel del factor Lead Time y del factor Estructura del Producto, sobre el *Nerviosismo del Sistema*(*ISR*).



**Figura 736. Grafica de medias para el Factor LT y EP y la VR, ISR.**

Considerando la diferencia de medias para el factor LT, se observa que en el análisis de los contrastes ( $LT0$  y  $LT1$ ), ( $LT0$  y  $LT2$ ) y ( $LT1$  y  $LT2$ ) se presentan diferencias significativas, se infiere que este par de tratamientos inciden de manera diferente en el resultado para la variable Nerviosismos del Sistema. Y sin que se verifique la presencia de grupos homogéneos para cada par de contrastes. Ver Anexo 49. De igual manera en el análisis para el factor EP, los contrastes resultantes entre los cinco niveles del factor, se evidencian diferencias significativas para todos los contrastes. Ver Anexo 50.

Se deduce también que el “*Nerviosismo del Sistema*” presenta un mejor desempeño cuando se opera con la estructura (EP2) y el Lead Time, presenta una demora de dos periodos. Por otro lado, el desempeño para el *Nerviosismo del Sistema* se incrementa, cuando se opera con la estructura pura de ensamble (EP1) y los plazos de entrega (LT) se realizan justo a tiempo esto es cuando LT es igual a cero periodos.

Se puede inferir entonces que cuando el LT aumenta, esto es el LT pasa de cero periodos a dos periodos se traduce en una disminución en el Nerviosismo del Sistema (ISR), se concluye que si se mantiene una tendencia de incremento en los LT o en los Stroke de compra, el índice ISR refleja un mejor comportamiento en el sistema. Ahora bien, si se reduce el Lead Time o las entregas se realizan justo a tiempo (LT0), implica un incremento en *Nerviosismo del Sistema*. Ver Figura 76.

Comparando los resultados con otra variable de, se infiere que en la medida en que el tiempo de entrega disminuya, para este caso cuando el  $LT=0$ , el Nerviosismo del sistema presenta un mejor comportamiento, y los *Costos Totales* decrecen, en ese sentido el *Costo Total* más bajo se presenta, cuando  $LT=0$ .

### 5.15.3 Interacciones para factores EP y LT y la variable de respuesta ISR.

De los datos de interacciones dobles, Anexo 47 para los factores LT y EP se observa que estadísticamente resulta significativa la interacción AB, con un *valor - p* de 0,0000, menor que el nivel de significancia prefijado (Figura 77), igualmente resultan estadísticamente significativas las interacciones BC, con un *valor - p* de 0,0000, y no significativa la interacción BD, con un *valor - p* de 0,000.

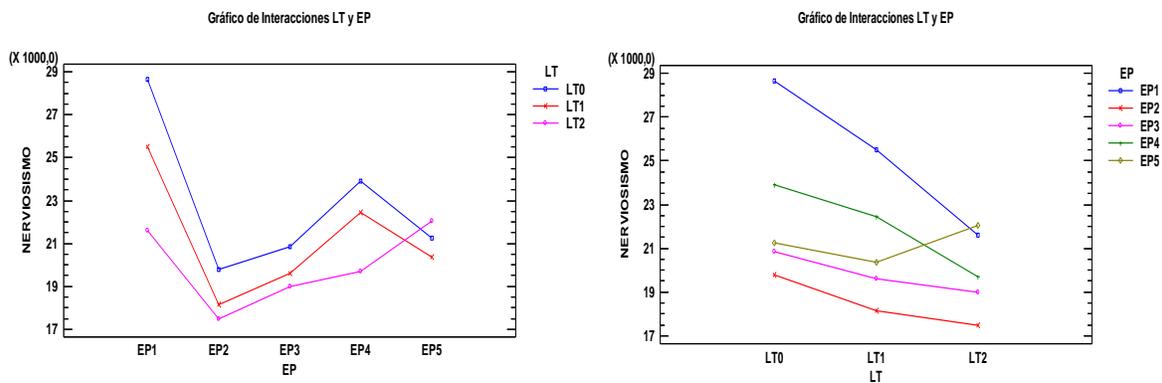


Figura 747. Interacciones para el Factor LT y EP y la VR, ISR.

Se presenta un alto Nerviosismo del Sistema, cuando se trabaja con la estructura EP1 o estructura pura de ensamble y se presenta un efecto de interacción y un incremento en el nerviosismo cuando el tiempo de entrega pasa del nivel LT0 a LT2 para esta misma estructura. Por otro lado cuando el tiempo de entrega se incrementa o cambia del nivel LT0 a LT2, el Nerviosismo del Sistema disminuye paulatinamente para las otras estructuras, exceptuando la estructura EP5 la cual presenta un aumento en el nerviosismos cuando el tiempo de entrega pasa de LT1 a LT2. Los efectos de interacción se aprecian en la Figura 77.

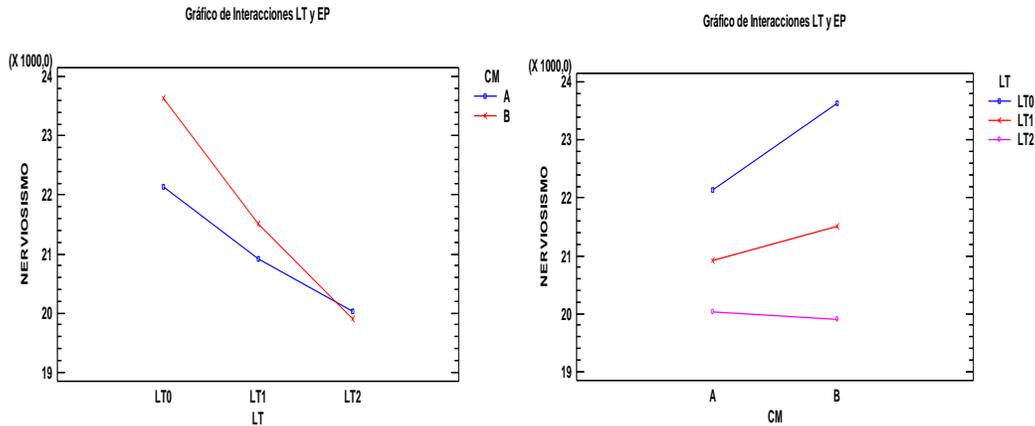


Figura 758. Interacciones para el Factor LT, CM y la VR, ISR.

Con relación a la interacción del factor *Lead Time (LT)* y el factor *Comunalidad (CM)* Figura 78, el *Nerviosismo del Sistema* presenta comportamiento similar cuando se trabaja con *Baja Comunalidad* o *Alta Comunalidad* en los materiales en la medida que el tiempo de entrega se incrementa esto es, pasa de L0 a L2. Sin embargo si el LT disminuye a L0, se tiene entonces que el *ISR*, de forma moderada es mayor, cuando los materiales presentan *Baja Comunalidad*.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1 Conclusiones.

Del análisis anterior se desprenden y se corroboran aspectos conceptuales relacionados con la operatividad de una cadena de suministros y del impacto que se deriva sobre el sistema por la variación de los tiempos de entrega, que van desde una entrega realizada justo a tiempo, hasta demoras en la entrega, representadas en *Stroke de compra* de 0 a 2 periodos en un horizonte de panificación de 52 periodos. En ese sentido se resaltan aquellas situaciones considerados más relevantes, como resultados específicos y puntuales que dan respuesta a los objetivos de la investigación.

1. Las fluctuaciones de los *Lead Time*, o cuando se trabaja con un *Lead Time* variable por parte de los proveedores, si tiene un impacto y con variaciones considerables en los *Costos Totales (TCR)*, el cual es conformado por los costos de inventario, costos de

faltantes, los costos de Stroke de producción y los costos de setup. De acuerdo a lo anterior observamos que cuando las órdenes de pedidos de materiales se realizan justo a tiempo, los costos totales tienden a disminuir, pero en la medida en que el tiempo de entrega se incrementa los costos totales también tienden a elevarse.

2. La estructura que presenta mejor comportamiento en cuanto a los costos totales más bajos es la estructura EP1, paralelamente los costos más altos se reflejan en la estructura de productos EP2 y EP5. Sin embargo Los cambios o variaciones en los tiempos de entrega, se reflejan con un incremento en los Costos Totales para todas las estructuras de los productos, pero con mayor incidencia para las estructuras EP1 y EP5, en las cuales se evidencia un incremento en los *Costos Totales* entre el 18,2% y el 10,4% respectivamente.

3. Cuando los tiempos de entrega varían de LT2 a LT0, para este caso el tiempo de entrega por parte de los proveedores se hace menor, y como se explicó anteriormente el costo total tiende a incrementarse, sin embargo este incremento en los *Costos Totales (TCR)*, tienen un impacto positivo en el nivel de servicio, cabe señalar que trae consigo una mejora significativa en el indicador cuando el Lead Time se realiza justo a tiempo (LT0). Ver Figura 74.

4. De los resultados de los *Costos de Inventario (HCR)* se puede afirmar entonces, que el cambio de nivel, o en la medida que el Tiempo de Entrega se hace menor, esto es el Lead Time pasa de una entrega con demoras de dos periodos a una entrega justo a tiempo (LT2 a LT0) se refleja en un incremento en los "*Costos de Inventario*". Se puede inferir entonces que una entrega justo a tiempo para un LT=0 periodo, tiene un efecto en la acumulación y manejo del inventario. Ver Figura 48

5. Análogamente para los Costos de Inventario de la Figura 48, se puede afirmar también que el costo más bajo se presenta cuando el Lead Time presenta una demora de dos periodos. Paralelamente el costo del inventario representa solo el 3% del costo total, indicando con ello que este bajo costo puede estar afectado por tiempos de entrega

mayores a cero periodos lo que indudablemente tienden a disminuir el costo del inventario, o puede verse influenciado por la misma parametrización del sistema. Ver Anexo 12

6. Con relación a los *Costos de Inventario(HCR)* y analizando las diferentes estructuras de productos, se puede afirmar que el costo de inventario más bajo se presenta cuando se trabaja con una estructura pura de proceso (EP5), dado que por el tipo de estructura los materiales no necesariamente deben estar disponibles para producción de manera inmediata, contrario a la estructura pura de ensamble(EP1) la cual refleja el costo más alto de inventario, y por la naturaleza de su estructura, el requerimiento de materiales debe realizarse de manera simultánea. Ver Figura 48

7. Por otra parte, para los costos de inventario y su efecto de interacción entre LT y EP en los Costos de inventario se puede afirmar también que las variaciones en LT del nivel LT0 al nivel LT2, impactan positivamente con una reducción en los costos de inventario para las a las cinco estructura de productos, EP1, EP2, EP3, EP4 Y EP5.

8. En este mismo contexto se concluye también que en la medida que el tiempo de entrega pasa de cero a dos periodos(LT0 a LT2), los Costos de Inventario también bajan, de manera análoga esta tendencia en los tiempos de entrega se mantiene, entonces teóricamente se puede afirmar que los costos de setup tienden a disminuir. Se infiere y se corrobora entonces que a menor inventario, los Costos de Setup también tienden a reducirse.

9. De acuerdo a la variable Costos de Inventario, y al efecto de interacción entre el Lead Time y la Comunalidad de los materiales, se puede concluir que cuando el tiempo de entrega se hace justo a tiempo, y luego se incrementa a dos periodo, es decir una demora en la entrega equivalente a de cero periodo a dos periodos , se refleja en un impacto en los costos del inventario, los cuales independientemente del tipo de comunalidad, experimentan el mismo costo de inventario pero con variaciones del 47% en los costos, cuando que se trabaje con Baja Comunalidad y del 30,5% cuando se trabaja Alta Comunalidad .Ver Figura 50

10. Teniendo en cuenta que los *Costos por Faltantes* representan el 86,33% de los *Costos Totales*, con esta participación bastante alta, se hace necesario reconsiderar y efectuar estudios y análisis más detallados sobre esta variable así como su parametrización y modelamiento, y demás factores que la afecten, dado que cualquier cambio en la Variable *Costos de Faltantes*, tiene repercusiones en los *Costos Totales*. En ese sentido se puede concluir, cuando los Lead Time por parte de los proveedores se hacen mayores, pasando de una demora en la entrega de cero periodo a dos periodos (LT0 al nivel LT2), esto impacta significativamente, reflejándose en un incremento en los *BCR*.

11. Del efecto de interacción de la Figura 65, entre el factor Lead Time (LT) y Comunalidad (CM), se aprecia que los incrementos en los tiempos de entrega por parte del proveedor, entonces los Costos de Setup tienden a decrecer ya sea para materiales con *Alta Comunalidad* o *Baja Comunalidad*. De manera similar el *BCR* se incrementa, cuando el Tiempo de Entrega pasa del nivel LT0 a LT2, independientemente si los materiales tienen baja o alta *Comunalidad*. Con base en lo anterior y teniendo en cuenta los efectos de interacción entre LT y CM, teóricamente se puede afirmar que los *Costos por Faltantes* decrecen cuando se trabaja con *Alta Comunalidad*, en ese mismo sentido los *BCR* se incrementan cuando se trabaja con productos que operan con *Baja Comunalidad* en los materiales.

12. Además del impacto del Lead Time sobre los Costos de Faltante, se concluye también que dado el efecto de interacción entre LT y el factor EP, se puede afirmar que las variaciones cuando el Tiempo de Entrega cambia de LT0 a LT2 impactan también a los costos por faltantes para cada estructura (EP1, EP2, EP3, EP4 y EP5). Estos incrementos que para algunas estructuras tiene mayor incidencia, van desde 3.0 % para la estructura EP4, hasta un incremento del 24,5% en los Costos por Faltantes para la estructura EP1. Ver Anexo 18.

13. Si la tendencia de una disminución o incremento en los Costos de Faltantes por cambios operados en el LT se mantiene, se infiere entonces, que en la medida en que el tiempo de entrega (LT) se hace mayor o menor, los *Costos de Faltantes* igualmente se

incrementan o disminuyen según el caso. De lo anterior se puede afirmar teóricamente también que la estructura EP1, representa el *BCR* más bajo de todas las estructuras y más sensible a la variación de los Lead Time cuando el Tiempo de entrega se encuentra en el nivel LT0, o cuando el Stroke de transporte, tiene una demora igual a cero periodos.

14. Ahora bien, se puede determinar también teóricamente, que en la medida en que los Tiempos de Entrega mantienen una tendencia de incremento o sea pasan de un nivel (LT0 a LT2), los costos por faltante asimismo se incrementan para todas las estructuras, en ese mismo sentido si se analiza el comportamiento de la variable de respuesta *Nivel de Servicio (NSR)* cuando paralelamente los LT presentan esa misma tendencia, entonces el Nivel de servicio decrece moderadamente. Ver Figura 74

15. Del efecto de interacción entre los factores Comunalidad (CM) y el Lead Time (LT) para la variable de respuesta *Costos de Faltantes (BCR)*, se puede concluir que cuando el Tiempo de Entrega cambia de LT0 a LT2, esto es la entrega se realiza justo a tiempo, y luego se incrementa a dos periodo, se refleja en un incremento en los Costos de Faltantes, para cuando se trabaja con alta o baja comunalidad. Sin embargo cuando se pasa de *Comunalidad* baja a una *Comunalidad* alta en los materiales el costo por faltante de materiales crece significativamente con una variación para LT0, LT1 y LT2 de 140%, 139% y 112% respectivamente. Ver Anexo 40

16. Se puede concluir también que a pesar de la significancia de los factores Lead Time (LT), y Estructura del Producto (EP), no existe efecto de interacción (AB), cualquier cambio en los tiempos de entrega de LT0 a LT2 no refleja variaciones en los *Costos de Producción*, para cualquiera de las estructuras de los productos. En resumen el *PCR* no presenta diferencias o variaciones para alguna de los niveles de cada estructura EP1, EP2, EP3, EP4 o EP5, por operar con LT bajos o altos.

17. Con relación a los Costos de Setup, se puede concluir que en la medida en que los Tiempos de Entrega se incrementen, de cero a dos periodos se refleja en una disminución en los *Costos de Setup SC*, los cuales representan el 13,4% de los costos totales. En este

mismo contexto se resalta que los costos de Faltantes (BCR) y los Costos de Setup (SCR) están representando el 99.74% de los Costos Totales.

18. Se puede advertir también que del análisis realizado y del comportamiento de las cinco variables de costos, se puede inferir teóricamente (Anexo 40), que la estructura EP1 que representa a la estructura pura de ensamble, refleja el mejor comportamiento. De lo anterior se infiere que para la Estructura de Productos (EP1) los *Costos Totales*, los *Costos de Faltantes*, los *costos de Produccion* y los *Costos de Setup* tienden a bajar cuando el LT pasa de un nivel alto a un nivel bajo. Sin embargo para los *Costos de Inventario (HCR)* sucede todo lo contrario, en la medida en que el LT pase de un nivel alto un nivel bajo (LT2 a LT0) entonces los *Costos de Inventario* se incrementan.

19. Así como se presentó la incidencia que tiene cada tipo de estructura (EP1, EP2, EP3, EP4, y EP5), sobre cada una de las variables de costo, de tal forma que para cada fue posible determinar los cuales determinarían el comportamiento de cada estructura en términos de costos. De manera similar se procede con los indicadores de Gestión. Del Anexo 42 se aprecia en resumen dos de las tres variables empleadas para medir el desempeño del sistema, HSR y NSR. En ese sentido y al analizar los valores, se encuentra que de todas las estructuras la estructura EP1, muestra mejor desempeño en la variable complejidad del Sistema. De igual forma se procede para la variable de respuesta Nivel de servicio, la cual el mejor comportamiento de esta variable está representado también por la estructura EP1. Se concluye entonces que la Estructura de Producto (EP1) o estructura pura de ensamble, teóricamente refleja mejores resultados en cuanto a elementos de costos e indicadores de desempeño se refiere.

20. Para concluir, cualquier incremento en el Tiempo de Entrega (LT), disminuye los costos de inventario, pero afecta el nivel de servicio, por el contrario una disminución en LT, contribuye a mejorar el Nivel de Servicio, pero incrementa los Costos de Inventario.

## 6.2 Recomendaciones y Posibles Investigaciones

Investigaciones que se pueden derivar del presente trabajo, están relacionadas con el impacto y efectos que algunos factores, vistos desde aguas arriba o aguas abajo, pueden tener sobre la Cadena de Suministro. Especialmente aquellos derivados del eslabón primario o fuentes de abastecimiento, y con especial significancia e importancia, aquellos factores que de alguna manera pueden exacerbar el efecto Bullwhip y por consiguiente el desempeño de todo el sistema. Los posibles títulos son los siguientes:

- ❑ Que impacto tiene los tiempos de entrega variables en el sistema de costos, en los niveles de inventarios, cuando se trabaja con un nivel de servicio especificado o se desee disminuir el efecto látigo.
- ❑ Medir el impacto de los tiempos de entrega y según el modelo de simulación empleado cuando se trabaja con un factor de demanda estocástica, o empleando modelos de proyecciones estocásticas y determinísticos.
- ❑ Identificar otras variables que puedan afectar el sistema de costos, producción y los niveles de servicio, con el fin de consolidar otros elementos relevantes de la SCM, y plantear mediante esta metodología un sistema de información que facilite la toma de decisiones, planificación de los recursos y la minimización de los costos.
- ❑ Minimizar la incertidumbre, generando o involucrando en el modelo de simulación, el inventario de seguridad, además del impacto sobre los Costos de Almacenamiento.
- ❑ Una vez validado el modelo de simulación con los impactos de los tiempos de entrega, y definiendo otros factores que sean relevantes para la SCM: Variable de demanda, stock de seguridad, tamaños de lote. Es posible su implementación en un entorno

con situaciones y parámetros reales, con el fin de optimizar recursos o mejorar los niveles de servicio.

- ❑ Medir impacto de los tiempos de entrega y otros factores relevantes cuando se trabaja con múltiples distribuidores con tiempos de entrega variable y demanda estocástica.
- ❑ Contrastar el modelo de simulación y los factores de evaluación utilizando diseño robusto para con el fin de optimizar la variable de respuesta, y el mejor nivel de cada variable controlable y no controlable.
- ❑ Efectuar el diseño experimental, mediante un análisis MULTIVARIANTE o MANOVA, con el fin de medir correlaciones e identificar si las variaciones en las variables independientes, tienen efectos sobre las variables dependientes.

## Referencias

- Asad Rami, & Demirli Kudret (2010). *Production scheduling insteel rolling mills with demand substitution Rolling horizon implementation and approximations*. Consultado en 11, 28, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- Blackburn, J. D., Kropp, D. H , & Millen, R. A. ((1986)). *Comparisons of strategies to dampen nervousness in MRP systems*. Management Science.
- Blackburn, J., Kropp, D., & Millen, R. (1985). MRP System nervousness: causes and cures. *Engineering Costs and Productions Economics*, 141-146.
- Bjork, K.-M., & Carlsson, C. (2007 ). *The effect of flexible lead times on a paper producer*. Elsevier Int. J. Production Economics 107 , 139–150. Consultado en 06, 27, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- Bozarth Cecil, Warsing D., & Flynn B. (2007). *The impact of supply chain complexity on manufacturing plant performance*. Journal of Operations Management 27 (2009) 78–93. Consultado en 10, 10, 2012, desde la base de datos Science Direct.
- Bredstom, D., y Ronnqvist, P. (2010). *A new method for robustness in rolling horizon planning - A numerical study*. Int. J. Production Economics. 12 de abril de 2012 desde la base de datos Science Direct.
- Calderon Lama, J. L. (2011). *Planificación Tactica de las Operaciones en Cadenas de Sumnistro de respuesta rapida , con estructura alternnativa de procesos: Modelado Matematico, Implementación y Experimentación*. Uniersidad Politecnica de Valencia, Valencia.

- Chandra Ch. & Grabisch J (2006). *Inventory management with variable lead-time dependent procurement cost*. Omega 36 (2008) 877 – 887. Consultado en 11, 10, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- Chopra, V. S., & Meindl, P. (2006). *Supply Chain Management. Strategy Planning & Operation*. Prentice Hall.
- De Treville, S., Shapiro, R. & Hameri, A. (2002). *From supply chain to demand chain: the role of lead time reduction in improving demand chain performance*. Journal of Operations Management 21 (2004) 613–627. Consultado 10, 05, 201, desde la base de datos Science Direct.
- Dmitry , I. a., Boris , S. b., & Joachim , K. (10 de Enero de 2009). A multi-structural framework for adaptive supply chain planning and operations control with structure dynamics considerations. (S. Direc, Ed.) *European Journal of Operational Research*, 409-420.
- Erkan Kabak, K., & Ornek, A. M. (2009 ). An improved metric for measuring multi-item multi-level schedule instability under rolling schedules. *Computers & Industrial Engineering* , 691–707.
- Fang, X., Zhang, C., Robb, D. j., & Blackburn, J. (2012). *Decision support for lead time and demand variability reduction*. Omega, 390-396.
- Filho, M. G., & Faria, F. C. (s.f.). *Reducao da inestabilidade e melhoria de desempenho do sistema MRP*.
- Frizelle, G., 1998. *The Management of Complexity in Manufacturing Business Intelligence, London*.
- Glock C., (2010). *Lead time reduction strategies in a single-vendor–single-buyer integrated inventory model with lot size-dependent lead times and stochastic demand*. Int. J. Production Economics 136(2010)37–44. Consultado en 03, 27, 2012 desde la base de datos Science Direct.

- Glomvik J., Rakke., Magnus R., Stalhane C., Moe R., Christiansen, M., Andersson J., Fagerholt K., y Norstad I., (2009). *A rolling horizon heuristic for creating a liquefied natural gas annual delivery program*. Department of Industrial Economics and Technology Management, The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway. *Transportation Research Part C* 19 (2011) 896–911. . Consultado en 04, 28, 2012 desde la base de datos Science Direct.
- Guijarro, E., Cardós, M., & Babiloni, E. (2011). *On the exact calculation of the fill rate in a periodic review inventory policy under discrete demand patterns*. *European Journal of Operational Research*, 218, 442–447.
- Habchi, G., & Labrune, C. (1995). *Study of lot sizes on job shop systems performance using simulation*. *El sevier, Simulation Practice and Theory* 2 (1995) 277-289, 277-289. Consultado 18 de abril de 2012 desde la base de datos Science Direct.
- Hachicha, W., Masmoudi, F., & Haddar , M. (2008). A Taguchi method application for the part routing selection in generalised group technology. *Int. J. Materials and Structural Integrity*, Vol. 2, No 4, pp.396–406.
- Heizer, J., & Render B. (2009). *Operation Management - Flexible Edition. 9th edition*., Pearson Prentice Hall.
- Ho, C. ((1989).). *Evaluating the impact of operating environments on MRP system nervousness*. *International Journal of Production, Research*, 27, 1115–1135.
- Hua, G., Wang, S., & Cheng, T. (2010). Price and lead time decisions in dual-channel supply chains. *Elsevier European Journal of Operational Research* 205, 113–126.
- Hua, G., Wang, S. y Cheng, T.C.E. (2009). *Production, Manufacturing and Logistics: Price and lead time decisions in dual-channel supply chains*. *European Journal of Operational Research* 205 (2010) 113-126. Consultado el 10 de abril de 2012 desde la base de datos Science Direct.

- Kamal, S., y Heydari, J. (2010). *Lead Time variance or Lead Time mean reduction in supply chain management: Which one has a higher impact on SC performance* International Journal of Production Economics 124(2010)475-481 Obtenido en 03,15, 2012, desde la base de datos de Science Direct.
- Kim Ilhyung & Tang Christopher S. (1997). *Lead time and response time in a pull production control system*. Consultado en 11, 15, 2011 en [Htp://www.sciencedirect.com/](http://www.sciencedirect.com/).
- Kim, J. G., Chatfield, D., Harrison, T. P., & Hayya, J. C. (2006). *Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time*. El sevier, European Journal of Operational Research 173, 617–636. Consultado 9 de abril de 2012 desde la base de datos Science Direct.
- Landeghema,, H., & Vanmaele, H. (2002). *Robust planning: a new paradigm for demand chain planning*. (S. Direct, Ed.) *Journal of Operations Management*, 760-783.
- Lee, H. L. (2002). *Alignin Supply Chain Strategies With Products Uncertainties*. California : California Management Review.
- Lee, S.-Y., Klassen, R., Furlan, A., & Vinelli, A. (2014). *The green bullwhip effect: Transferring environmental requirements*. (I. J. Economics, Ed.) Gwanglu, South Korea: El Sevier.
- Li, C. y Liu, S. (2012). *A robust optimization approach to reduce the bullwhip effect of supply chains with vendor order placement lead time delays in an uncertain environment*. *Applied Mathematical Modelling*, 36 (3), 863-1346. Consultado el 10 de abril de 2012 desde la base de datos Science Direct.
- Liang, W.-Y. y Huang, C.-C., (2006). *Agent-based demand forecast in multi-echelon supply chain*. *Decisión Support Systems* 42 (1), 390–407. Consultado el 10 de abril de 2012 desde la base de datos Science Direct.

- Li, Y., Xu, X., & Ye, F. (2011). *Supply chain coordination model with controllable lead time and service level constraint*. Elsevier, *Computers & Industrial Engineering* 61, 858–864.
- Lindsay & Blackburn, (1991). *Time and product variety competition in the book distribution industry*. Elsevier, *Journal of Operations Management*, 344–362. Consultado en 06, 29, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- Maheut & Garcia-Sabater, 2011. *La Matriz de Operaciones y Materiales y la Matriz de Operaciones y Recursos, un nuevo enfoque para resolver el problema GMOP basado en el concepto del Stroke*. Departamento de Organización de empresas. Universitat Politècnica de Valencia. Dirección y Organización, Núm. 45 Diciembre de 2011. Consultado en 03, 20, 2012, desde la base de datos Science Direct.
- Maheut, J., (2010). *Revisión de la literatura sobre la flexibilidad de decisión operacional*. Working Papers on Operations Management Vol 2, N° 1 (39-48). Consultado en 04, 30, 2012, desde la base de datos Science Direct.
- Maheut J., Sabater J., (2010). *La Matriz de Operaciones y Materiales y la Matriz de Operaciones y Recursos, un nuevo enfoque para resolver el problema GMOP basado en el concepto del Stroke*. Consultado en 04, 27, 2012. Departamento de Organización de empresas. Universitat Politècnica de Valencia. Dirección y Organización, Núm. 45 Diciembre de 2011. Consultado en 04, 27, 2012.
- Miranda, F., Rubio, S., Chamorro, A., & Bañegil, T. (2005). Manual de dirección de. *Editorial Thomson*.
- M, K, O., & J. A, B. (2009). *Revising the master production schedule in a HPP framework context*. (N. 2. Vol. 47, Ed.) *International Journal of Production Research*.

- "Mula Bru Josefa, & Poler Escoto Raúl (2002). *Modelos y Métodos para la Planificación de la producción de la cadena de suministro bajo incertidumbre*. Consultado en 11, 25, 2011 en <http://www.sciencedirect.com/>.
- Mohebbi , E., & Choobineh , F. (2004). *The impact of component commonality in an assemble-to-order environment under supply and demand uncertainty* (Vol. Omega 33 ). (S. Direct, Ed.) Nebraska-Lincoln: El Sevier.
- Nepal B., Monplaisir L., y Famuyiwa O. (2010) *Matching product architecture with supply chain design*. Consultado en 03, 24, 2012. European Journal of Operational Research 216 (2012) 312–325. Consultado en 03, 20, 2012 desde la base de datos Science Direct.
- Orcuna S., Uzsoyb R., & Kempfc K. (2008). *An integrated production planning model with load-dependent lead-times and safety stocks*. Computers and Chemical Engineering 33 (2009) 2159–2163. Consultado en 10, 20, 2012, desde la base de datos Science Direct.
- Ozturk, A., Kayalýgil S., & Ozdemirel, N., (2005). *Manufacturing lead time estimation using data mining*. European Journal of Operational Research 173 (2006) 683–700. Consultado en 11, 20, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- Petrovic D., Roy R., & Petrovic R. (1998). *Modeling and Simulation of a Supply Chain in an Uncertain Environment*, *European Journal of Operational Research*, 109, 2, pp. 299-309. Consultado en 11, 10, 2011 en [Htp://www.sciencedirect.com/](http://www.sciencedirect.com/).
- Prasad, P., & Krishnaiah, C. (2001). *Multilevel Lot Sizing with a Genetic Algorithm Under Fixed and Rolling Horizons*. *Advanced Manufacturing Technology (Manufacturing Engineering Sección, Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India*, 520-527. Consultado 30 de Septiembre de 2012 desde la base de datos Science Direct

- Pujawan, N. ((2004).). *Schedule nervousness in a manufacturing system: a case study*. Production Planning and Control, , 15(5), 515–524.
- Sarker, B. R., & Coates, E. R. (1997). *Manufacturing setup cost reduction under variable lead times and finite opportunities for investment*. Int. J. Production Economics, 49 (1997) 237-247. Consultado en 03, 20, 2012, desde la base de datos Science Direct.
- Sanajian , N., & Balcioglu , B. (2009). *The impact of production time variability on make-to-stock queue performance*. European Journal of Operational Research 194, 847–855. Consultado en 11, 28, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- Selcuk B., Fransoo J. & De Kok A. (2004). *The effect of updating lead times on the performance of hierarchical planning systems*. Int. J. Production Economics 104 (2006) 427–440. Consultado en 01, 08, 2012, desde la base de datos Science Direct.
- Sivadasan, S., Efstathiou , J., & Calinescu , A. (2004). *Advances on measuring the operational complexity of supplier–customer systems*. (E. J. Research, Ed.) Science Direct, 171, 208–226.
- Slotnick , S. A., & Sobel, M. J. (2005). *Manufacturing lead-time rules: Customer retention versus tardiness costs*. Elsevier European Journal of Operational Research 163, 825–856.
- Sridharan, V., Berry, W. L., & Udayabhanu, V. (September 1987). *Freezing the Master Production Schedule Under Rolling Planning Horizons*. Management Science, v. 33, n. 9,.
- Sridharan, V., Berry, W. L., & V., & U. ((1988)). *Measuring master production schedule stability under rolling planning horizons*. Decision Sciences, 19, 147–166.
- Taleizadeh, A. A., Akhavan, S. T., & Makui, A. (2011). *Multiproduct multiple-buyer single-vendor supply chain problem demand, variable lead-time, and multi-chance*

- constraint*. Expert Systems with Applications, 39 (2012) 5338–5348. Consultado en 03, 18, 2012, desde la base de datos Science Direct.
- Tyagi, S. K., Yang, K., Tyagi, A., & Dwivedi, S. N. (2011). *Development of a fuzzy goal programming model for optimization of lead time and cost in an overlapped product development project using a Gaussian Adaptive Particle Swarm Optimization-based approach*. El Sevier, Engineering Applications of Artificial Intelligence 24, 866–879. Consultado 15 de abril de 2012 desde la base de datos Science Direct.
- Vakharia , A. J., Parmenter , D. A., & Susan , S. M. (1995). *The operating impact of parts commonality*. Science Direct.
- Vidal, C. J. (1998). *A Global Supply Chain Model with Transfer Pricing and Transportation Cost Allocation*. El Sevier, European Journal of Operational Research. Consultado 9 de Agosto de 2012 desde la base de datos Science Direct.
- Whicker L., Bernon M, S. Templar S. &Mena C. (2006). *Understanding the relationships between time and cost to improve supply chain performance*. Int. J. Production Economics 121(2009) 641–650. Consultado en 01, 08, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- Wang, Y., Gerchak, Y., (1998). *Input control in a batch production system with lead times, due dates and random yields*. European Journal of Operational Research 126 (2000) 371-385. Obtenido en 03,13, 2012, desde la base de datos de Science Direct.
- Warren Liao , T., & Chang, P. (2010). *Impacts of forecast, inventory policy, and lead time on supply chain inventory - A numerical study*. Int. J. Production Economics 128 (2010) 527–537. Obtenido el 10 de abril de 2012 desde la base de datos Science Direct.

- Weng, K. Z. (1996). *Manufacturing lead times, system utilization rates and Manufacturing lead times, system utilization rates and.* Elsevier, European Journal of Operational Research 89, 259-268.
- Xie J., Zhao X., y Lee T., (2003). *Freezing the master production schedule under single resource. Constraint and demand uncertainty.* Int. J. Production Economics 83 (2003) 65–84. Consultado 13 de abril de 2012 desde la base de datos Science Direct.
- Yeu-Shiang Huang. Wei-Jun Su, & Zu-Liang Lin, (2010). *A study on lead-time discount coordination for deteriorating products.* Consultado en 12, 15, 2011 en <http://www.sciencedirect.com/>.
- Zhao, X., & Lee, T. S. (1996). Freezing the master production schedule in multinivel material requirements plannings systems under deterministic demand. *Production Planning & Control*, 141-161.
- Zhoua, L., & Grubbstrom, R. W. (2003). *Analysis of the effect of commonality in multi-level inventory systems applying MRP theory.* (I. J. Economics, Ed.) Linkoping, Sweden: Elsevier.
- Zukui Li, & Marianthi G Ierapetritou (2010). *Rolling horizon based planning and scheduling integration with production capacity consideration.* Department of Chemical and Biochemical Engineering, Rutgers University, Piscataway, USA 2010. Consultado en 11, 30,2011 en <http://www.sciencedirect.com/>.

# ANEXOS

## Anexo 1 Arreglo o diseño factorial para 120 tratamientos por replica.

Arreglo o diseño factorial para 120 tratamientos por replica																														
OBSERVACIONES	EP	LT	CM	HD	CV	TRA	EP	LT	CM	HD	CV	TRA	EP	LT	CM	HD	CV	TRA	EP	LT	CM	HD	CV	TRA	EP	LT	CM	HD	CV	TRA
Lead Time Bajo	1	B	B	B	B	1	2	B	B	B	B	25	3	B	B	B	B	49	4	B	B	B	B	73	5	B	B	B	B	97
CV de Baja a Alta	1	B	B	B	A	2	2	B	B	B	A	26	3	B	B	B	A	50	4	B	B	B	A	74	5	B	B	B	A	98
HD de Baja a Alta	1	B	B	A	B	3	2	B	B	A	B	27	3	B	B	A	B	51	4	B	B	A	B	75	5	B	B	A	B	99
	1	B	B	A	A	4	2	B	B	A	A	28	3	B	B	A	A	52	4	B	B	A	A	76	5	B	B	A	A	100
CM de Baja a Alta	1	B	A	B	B	5	2	B	A	B	B	29	3	B	A	B	B	53	4	B	A	B	B	77	5	B	A	B	B	101
	1	B	A	B	A	6	2	B	A	B	A	30	3	B	A	B	A	54	4	B	A	B	A	78	5	B	A	B	A	102
	1	B	A	A	B	7	2	B	A	A	B	31	3	B	A	A	B	55	4	B	A	A	B	79	5	B	A	A	B	103
	1	B	A	A	A	8	2	B	A	A	A	32	3	B	A	A	A	56	4	B	A	A	A	80	5	B	A	A	A	104
Lead Time de Bajo a Medio	1	M	B	B	B	9	2	M	B	B	B	33	3	M	B	B	B	57	4	M	B	B	B	81	5	M	B	B	B	105
	1	M	B	B	A	10	2	M	B	B	A	34	3	M	B	B	A	58	4	M	B	B	A	82	5	M	B	B	A	106
	1	M	B	A	B	11	2	M	B	A	B	35	3	M	B	A	B	59	4	M	B	A	B	83	5	M	B	A	B	107
	1	M	B	A	A	12	2	M	B	A	A	36	3	M	B	A	A	60	4	M	B	A	A	84	5	M	B	A	A	108
	1	M	A	B	B	13	2	M	A	B	B	37	3	M	A	B	B	61	4	M	A	B	B	85	5	M	A	B	B	109
	1	M	A	B	A	14	2	M	A	B	A	38	3	M	A	B	A	62	4	M	A	B	A	86	5	M	A	B	A	110
	1	M	A	A	B	15	2	M	A	A	B	39	3	M	A	A	B	63	4	M	A	A	B	87	5	M	A	A	B	111
	1	M	A	A	A	16	2	M	A	A	A	40	3	M	A	A	A	64	4	M	A	A	A	88	5	M	A	A	A	112
Lead time de Medio a alto	1	A	B	B	B	17	2	A	B	B	B	41	3	A	B	B	B	65	4	A	B	B	B	89	5	A	B	B	B	113
	1	A	B	B	A	18	2	A	B	B	A	42	3	A	B	B	A	66	4	A	B	B	A	90	5	A	B	B	A	114
	1	A	B	A	B	19	2	A	B	A	B	43	3	A	B	A	B	67	4	A	B	A	B	91	5	A	B	A	B	115
	1	A	B	A	A	20	2	A	B	A	A	44	3	A	B	A	A	68	4	A	B	A	A	92	5	A	B	A	A	116
	1	A	A	B	B	21	2	A	A	B	B	45	3	A	A	B	B	69	4	A	A	B	B	93	5	A	A	B	B	117
	1	A	A	B	A	22	2	A	A	B	A	46	3	A	A	B	A	70	4	A	A	B	A	94	5	A	A	B	A	118
	1	A	A	A	B	23	2	A	A	A	B	47	3	A	A	A	B	71	4	A	A	A	B	95	5	A	A	A	B	119
	1	A	A	A	A	24	2	A	A	A	A	48	3	A	A	A	A	72	4	A	A	A	A	96	5	A	A	A	A	120

## Anexo 2 Resultados Experimentales

**DATOS GENERALES DEL EXPERIMENTO  
RESULTADOS REPLICAS 1,2 Y 3**

							Costo Total	Costo Inventario	Faltantes	Costo Stroke prod	Costos Setup	Complejidad del Sistema	Nivel de Servicio	Nerviosismo del Sistema
REPLICA-1	SECUENCIA	EP	LT	CM	HD	CV	TCR	HCR	BCR	PCR	SCR	HSR	NSR	ISR
	1	1	B	B	B	B	4630560	26760	0	99000	4504800	1,662442436	1	11910
	2	1	B	B	B	A	21295720,75	33987,75	16628425	103558	4529750	1,718170383	0,774105	29970,825
	3	1	B	B	A	B	4632921,6	29121,6	4,9E-11	99000	4504800	1,239262203	1	9351,6
	4	1	B	B	A	A	19458715,5	36474	14543475	103366,5	4775400	1,30706822	0,764553	29792,675
	5	1	B	A	B	B	4580000	26400	0	99000	4454600	1,662771462	1	12300
	6	1	B	A	B	A	91283126,2	33367,45	86675500	102958,75	4471300	1,72500685	0,168875	25765,675
	7	1	B	A	A	B	4580000	26400	0	99000	4454600	1,234596657	1	12300
	8	1	B	A	A	A	20335966,28	37059,9	15614125	105831,375	4578950	1,319998842	0,749398	28835,525
	9	1	M	B	B	B	4756800	22800	0	94000	4640000	1,662771462	1	11300
	10	1	M	B	B	A	22531949,98	28667,6	17704250	102032,375	4697000	1,7101104	0,75954	25188,65
	11	1	M	B	A	B	4725592	22800	0	93992	4608800	1,233334147	1	11299
	12	1	M	B	A	A	23788604,52	29929,1709	18705332	99443,25	4953900	1,297741177	0,697166	26751,17966
	13	1	M	A	B	B	4627200	22800	0	94000	4510400	1,662771462	1	11300
	14	1	M	A	B	A	92856652,9	28948,65	88179125	100929,25	4547650	1,704803859	0,200147	23582,275
	15	1	M	A	A	B	4627200	22800	0	94000	4510400	1,234596657	1	11300
	16	1	M	A	A	A	23994568,3	29341,3773	19056066	99361,25	4809800	1,296916098	0,684477	26240,47136
	17	1	A	B	B	B	4879200	16800	0	96000	4766400	1,659131876	1	11715
	18	1	A	B	B	A	26342605,75	22698,75	21380225	103382	4836300	1,714981643	0,711592	22637,525
	19	1	A	B	A	B	4831744	14176	5,92E-08	95968	4721600	1,224483515	1	11809,4
	20	1	A	B	A	A	27895788,99	21806,3301	22654702	100430,383	5118850	1,296069854	0,637263	19716,83448
	21	1	A	A	B	B	4735200	17200	0	96000	4622000	1,662771462	1	11700
	22	1	A	A	B	A	931444408,13	28814,25	88476975	102068,875	4536550	1,717401513	0,205859	23468,9
	23	1	A	A	A	B	4718980	17200	3,68E-11	95980	4605800	1,234171415	1	11697,5
	24	1	A	A	A	A	30824626,08	21944,1448	25722175	100056,561	4980450	1,300899356	0,585416	21012,76314
	25	2	B	B	B	B	15186300	8800	0	217500	14960000	4,902617365	1	11950

26	2	B	B	B	A	61886513,15	17389,775	46615825	244198,375	15009100	5,204294119	0,369169	20234,925
27	2	B	B	A	B	15201890,4	8798,4	0	217492	14975600	3,644866903	1	11948,4
28	2	B	B	A	A	51409514,46	17657,3805	36069759	227597,754	15094500	3,837480037	0,427109	20164,54693
29	2	B	A	B	B	15024300	8800	0	217500	14798000	4,902617365	1	11950
30	2	B	A	B	A	127977180,5	17113,216	1,13E+08	242067,25	14771900	5,174908502	0,543085	18237,35903
31	2	B	A	A	B	15017095,2	8799,2	0	217496	14790800	3,643783439	1	11949,2
32	2	B	A	A	A	130755171,9	20066,15	1,16E+08	236155,75	14153450	3,951376216	0,599479	19816,2243
33	2	M	B	B	B	15256500	6600	0	217900	15032000	4,902617365	1	12030
34	2	M	B	B	A	63215071,5	14630,125	47914750	242041,375	15043650	5,17318223	0,346583	18332,95
35	2	M	B	A	B	15256502	6600	0	217902	15032000	3,643783439	1	12030,4
36	2	M	B	A	A	52969950,17	16546,8728	37601456	225047,247	15126900	3,827960612	0,383392	18950,22218
37	2	M	A	B	B	15062200	6600	4,31E-09	218000	14837600	4,902617365	1	12050
38	2	M	A	B	A	132107507,7	13498,7	1,17E+08	245159	14830600	5,231109013	0,579827	16946,15
39	2	M	A	A	B	15062196,5	6600	0	217996,5	14837600	3,643783439	1	12049,3
40	2	M	A	A	A	136550656,8	16467,95	1,22E+08	239513,875	14019200	3,968636734	0,686467	17884,8
41	2	A	B	B	B	15361320	4470	0	216850	15140000	4,902617365	1	11820
42	2	A	B	B	A	66009863,38	11210,125	50635650	242353,25	15120650	5,179023085	0,314736	16949,625
43	2	A	B	A	B	15361353,6	4475,6	0	216878	15140000	3,643783439	1	11825,6
44	2	A	B	A	A	56074705,14	12261,5103	41409993	226900,793	14425550	3,792518372	0,32622	17954,03015
45	2	A	A	B	B	15118500	4500	0	217000	14897000	4,902617365	1	11850
46	2	A	A	B	A	131041658	14346,075	1,16E+08	241686,875	14834000	5,181993879	0,5826	16939,525
47	2	A	A	A	B	15118426,8	4487,8	0	216939	14897000	3,643783439	1	11837,8
48	2	A	A	A	A	135391440,9	16294,475	1,21E+08	238921,375	14013050	3,960988619	0,667272	18135,8
49	3	B	B	B	B	8340410	11060	0	121350	8208000	4,829420625	1	11870
50	3	B	B	B	A	36181111,5	18070,875	27815625	131265,625	8216150	5,028147243	0,619393	21652,3
51	3	B	B	A	B	8383265	11052	1,77E-08	121413	8250800	3,563833489	1	11883,1
52	3	B	B	A	A	35080606,53	18490,0433	26494852	130264,714	8437000	3,788640678	0,579756	21641,86747
53	3	B	A	B	B	8266855	11030	0	121425	8134400	4,831937432	1	11885
54	3	B	A	B	A	107963109,5	18288,85	99764800	131770,625	8048250	5,053699555	0,361534	18754,575
55	3	B	A	A	B	8216279,6	11025,6	0	121454	8083800	3,562023203	1	11890,8

56	3	B	A	A	A	112194313,2	19150,2	1,04E+08	134088	8210450	3,910796226	0,38956	21044,425
57	3	M	B	B	B	8407040	8690	0	121950	8276400	4,829420625	1	11990
58	3	M	B	B	A	39389096,78	14611,025	30963175	133560,75	8277750	5,082841934	0,582995	20095,725
59	3	M	B	A	B	8388964,2	8678,2	1,07E-08	121886	8258400	3,561755638	1	11977,7
60	3	M	B	A	A	34841848,85	16335,0021	26149344	127920,181	8548250	3,758154522	0,588283	21167,69969
61	3	M	A	B	B	8246870	8695	0	121975	8116200	4,829420625	1	11995
62	3	M	A	B	A	108049852,9	15567,1805	99805625	130810,75	8097850	5,024519373	0,367308	18300,68403
63	3	M	A	A	B	8248700	8700	0	122000	8118000	3,562023203	1	12000
64	3	M	A	A	A	116710291,6	16764,475	1,08E+08	132402,125	8167300	3,877119187	0,471442	19278,1
65	3	A	B	B	B	8481050	6600	5,75E-09	122450	8352000	4,829420625	1	12090
66	3	A	B	B	A	42677110,9	11975,275	34230900	132735,625	8301500	5,069963203	0,535632	18634
67	3	A	B	A	B	8493389	6600	0	122389	8364400	3,562794575	1	12078,3
68	3	A	B	A	A	40930353,86	12896,9775	32326207	131699,744	8459550	3,797392039	0,49188	19443,60773
69	3	A	A	B	B	8286200	6600	8,63E-08	122000	8157600	4,829420625	1	18600
70	3	A	A	B	A	104410904,2	16270,729	96163817	129216,875	8101600	4,982417397	0,332254	18374,975
71	3	A	A	A	B	8286200	6600	0	122000	8157600	3,562023203	1	18600
72	3	A	A	A	A	116016076,1	15038,6	1,08E+08	136962,5	8128050	3,91716939	0,427591	19424,35
73	4	B	B	B	B	6500550	17800	0	108750	6374000	3,2941602	1	11800
74	4	B	B	B	A	39687844,23	25011,225	33107925	120308	6434600	3,475937494	0,55644	23666,625
75	4	B	B	A	B	6539345	17847,5	0	109497,5	6412000	2,447817072	1	11949,5
76	4	B	B	A	A	33870785,7	27073,2161	27098438	111624,876	6633650	2,559076933	0,548722	24764,66164
77	4	B	A	B	B	6406345	17920	0	108625	6279800	3,296317474	1	11775
78	4	B	A	B	A	116299694,5	25686,625	1,1E+08	117557,875	6272800	3,44039744	0,493034	21401,18563
79	4	B	A	A	B	6375349,2	17851,7	1,13E-09	109497,5	6248000	2,446374087	1	11949,5
80	4	B	A	A	A	116899066	26692,775	1,1E+08	116023,25	6542650	2,646739046	0,498449	22666,775
81	4	M	B	B	B	6586900	14400	1,42E-06	108500	6464000	3,2941602	1	11750
82	4	M	B	B	A	38472398,58	22274,2	31819350	116124,375	6514650	3,408084207	0,563354	21872,875
83	4	M	B	A	B	6579703,2	14393,2	0	108510	6456800	2,446374087	1	11752
84	4	M	B	A	A	33448014,95	25282,3348	26533257	107875,98	6781600	2,526880905	0,545995	22540,87078
85	4	M	A	B	B	6436370	15295	0	109675	6311400	3,295957936	1	11985
86	4	M	A	B	A	114409176,3	22840,2729	1,08E+08	117561	6325750	3,433624186	0,478061	21156,05037

	87	4	M	A	A	B	6431037,2	15295,7	0	109741,5	6306000	2,448171823	1	11998,3
	88	4	M	A	A	A	38231874,94	23102,1535	31507675	116998,014	6584100	2,608268966	0,50965	24737,16073
	89	4	A	B	B	B	6674350	11100	0	109250	6554000	3,2941602	1	11900
	90	4	A	B	B	A	40988655,28	17635,275	34228600	116670	6625750	3,423950947	0,529261	18910,5
	91	4	A	B	A	B	6703591,9	11087,9	0	109104	6583400	2,447815482	1	11870,8
	92	4	A	B	A	A	37752292,59	20065,0884	30801579	112598,603	6818050	2,555683812	0,494215	20163,41759
	93	4	A	A	B	B	6447785	16460	0	109125	6322200	3,295957936	1	11875
	94	4	A	A	B	A	109995416,3	23814,3	1,04E+08	118002	6338650	3,450190449	0,394746	20849,80588
	95	4	A	A	A	B	6479842,2	11090,2	0	109152	6359600	2,446374087	1	11880,4
	96	4	A	A	A	A	45326353,93	16902,2983	38498912	118739,647	6691800	2,631581801	0,404355	20945,37612
	97	5	B	B	B	B	16929000	3300	0	229700	16696000	6,48508614	1	12040
	98	5	B	B	B	A	74173407,35	10615,475	57490800	259091,875	16412900	6,96668361	0,220334	22166,4
	99	5	B	B	A	B	16929022,5	3300	0	229722,5	16696000	4,823767898	1	12044,5
	100	5	B	B	A	A	79220738,95	15093,075	64230375	251270,875	14724000	5,289139087	0,091305	20499,71923
	101	5	B	A	B	B	16842600	3300	0	229700	16609600	6,48508614	1	12040
	102	5	B	A	B	A	106571866,2	10959,95	90072025	258881,25	16230000	6,961902456	0,223431	21766,9
	103	5	B	A	A	B	16842601	3300	0	229701	16609600	4,823767898	1	12040,2
	104	5	B	A	A	A	106297637,3	13278,575	91608426	253832,25	14422100	5,321787813	0,272542	19693,825
	105	5	M	B	B	B	16981400	2150	0	229250	16750000	6,48508614	1	11950
	106	5	M	B	B	A	71721218,93	9914,05	55018875	252779,875	16439650	6,849543051	0,232491	21244,75
	107	5	M	B	A	B	16981400	2150	0	229250	16750000	4,823767898	1	11950
	108	5	M	B	A	A	80571349,05	13869,8	66372825	246204,25	13938450	5,212578518	0,068251	19284,925
	109	5	M	A	B	B	16873400	2150	0	229250	16642000	6,48508614	1	11950
	110	5	M	A	B	A	102664095	9728,375	86070600	253766,625	16330000	6,87256353	0,182727	21123,275
	111	5	M	A	A	B	16873400	2150	0	229250	16642000	4,823767898	1	11950
	112	5	M	A	A	A	115632063	11677,075	1,02E+08	255885,875	13504400	5,330676647	0,406025	19533,35
	113	5	A	B	B	B	17124350	1100	0	229250	16894000	6,48508614	1	11950
	114	5	A	B	B	A	82443636,75	7315,875	65813350	259520,875	16363450	6,956466409	0,106452	23115,65
	115	5	A	B	A	B	17460500	0	0	228500	17232000	4,806159785	1	11850
	116	5	A	B	A	A	101165344,8	10273,925	88774250	260870,875	12119950	5,28957069	0,187573	22172,45

REPLICA-2	117	5	A	A	B	B	16958750	1100	0	229250	16728400	6,48508614	1	11950
	118	5	A	A	B	A	106175068,3	8961,8	89631000	258506,5	16276600	6,95926549	0,216045	21465,925
	119	5	A	A	A	B	16958750	1100	0	229250	16728400	4,823767898	1	11950
	120	5	A	A	A	A	127421423,7	9920,075	1,13E+08	271053,625	13771150	5,427333967	0,470104	19535,55
	121	1	B	B	B	B	4630560	26760	0	99000	4504800	1,662442436	1	11910
	122	1	B	B	B	A	20605433,65	33635,4	15941300	103398,25	4527100	1,708869184	0,782784	29075,875
	123	1	B	B	A	B	4632921,6	29121,6	4,9E-11	99000	4504800	1,239262203	1	9351,6
	124	1	B	B	A	A	17920195,45	37321,95	13036400	98873,5	4747600	1,282716972	0,782882	29281,575
	125	1	B	A	B	B	4580000	26400	0	99000	4454600	1,662771462	1	12300
	126	1	B	A	B	A	90685805,53	34006,9	86082675	102273,625	4466850	1,710926585	0,172978	26509,7
	127	1	B	A	A	B	4580000	26400	0	99000	4454600	1,234596657	1	12300
	128	1	B	A	A	A	19384589,78	35808,025	14671700	105481,75	4571600	1,313299078	0,760118	30794,775
	129	1	M	B	B	B	4756800	22800	0	94000	4640000	1,662771462	1	11300
	130	1	M	B	B	A	23831848,13	28538,625	19037100	102659,5	4663550	1,714762052	0,744196	25227,2
	131	1	M	B	A	B	4725592	22800	0	93992	4608800	1,233334147	1	11299
	132	1	M	B	A	A	23582302,62	30537,8499	18493726	100239	4957800	1,292364025	0,693274	27708,94929
133	1	M	A	B	B	4627200	22800	0	94000	4510400	1,662771462	1	11300	
134	1	M	A	B	A	93316393,28	28830,65	88639125	101387,625	4547050	1,709576011	0,210925	24831,125	
135	1	M	A	A	B	4627200	22800	0	94000	4510400	1,234596657	1	11300	
136	1	M	A	A	A	24508831,07	28352,5969	19548287	103941	4828250	1,320652439	0,694923	24661,4623	
137	1	A	B	B	B	4879200	16800	0	96000	4766400	1,659131876	1	11715	
138	1	A	B	B	A	27398157,1	22644,35	22439950	102762,75	4832800	1,717576133	0,695364	22232,575	
139	1	A	B	A	B	4831744	14176	5,92E-08	95968	4721600	1,224483515	1	11809,4	
140	1	A	B	A	A	32077154,94	20469,7741	26791507	103127,878	5162050	1,310112185	0,582459	19827,28468	
141	1	A	A	B	B	4735200	17200	0	96000	4622000	1,662771462	1	11700	
142	1	A	A	B	A	94411857,8	28014,175	89730475	104018,625	4549350	1,733726303	0,197215	23603,95	
143	1	A	A	A	B	4718980	17200	3,68E-11	95980	4605800	1,234171415	1	11697,5	
144	1	A	A	A	A	30903364,29	22138,1404	25742627	100499,434	5038100	1,300915919	0,586797	20303,00121	
145	2	B	B	B	B	15186300	8800	0	217500	14960000	4,902617365	1	11950	
146	2	B	B	B	A	62568076,93	17544,8	47302950	244682,125	15002900	5,209613141	0,358437	20266,875	

147	2	B	B	A	B	15201890,4	8798,4	0	217492	14975600	3,644866903	1	11948,4
148	2	B	B	A	A	55951399,77	17087,0635	40547290	232922,576	15154100	3,868102965	0,357974	21247,8248
149	2	B	A	B	B	15024300	8800	0	217500	14798000	4,902617365	1	11950
150	2	B	A	B	A	129359658,2	16703,216	1,14E+08	244388,375	14787750	5,208203615	0,546375	18149,05
151	2	B	A	A	B	15017095,2	8799,2	0	217496	14790800	3,643783439	1	11949,2
152	2	B	A	A	A	136138425,3	17711,375	1,22E+08	247363,875	14198750	4,047623902	0,647089	19473,75
153	2	M	B	B	B	15256500	6600	0	217900	15032000	4,902617365	1	12030
154	2	M	B	B	A	61941312,85	14140,85	46617550	242222	15067400	5,182435277	0,365853	17750,65
155	2	M	B	A	B	15256502	6600	0	217902	15032000	3,643783439	1	12030,4
156	2	M	B	A	A	55496951,9	16099,1562	40128709	227543,627	15124600	3,83335149	0,355966	19372,29642
157	2	M	A	B	B	15062196,5	6600	0	217996,5	14837600	3,643783439	1	12049,3
158	2	M	A	B	A	130842587,8	14552,2	1,16E+08	241410,625	14824750	5,176850993	0,58581	16968,5
159	2	M	A	A	B	15062196,5	6600	0	217996,5	14837600	3,643783439	1	12049,3
160	2	M	A	A	A	142303921,2	15146,825	1,28E+08	245874,375	13972000	4,008318928	0,722881	18056,825
161	2	A	B	B	B	15361320	4470	0	216850	15140000	4,902617365	1	11820
162	2	A	B	B	A	67929468,8	10808,425	52558450	244360,375	15115850	5,205986199	0,286864	16970,775
163	2	A	B	A	B	15361353,6	4475,6	0	216878	15140000	3,643783439	1	11825,6
164	2	A	B	A	A	62043014,45	11455,5695	47301180	233578,75	14496800	3,823995027	0,251261	18580,92219
165	2	A	A	B	B	15118500	4500	0	217000	14897000	4,902617365	1	11850
166	2	A	A	B	A	131781920	14438,85	1,17E+08	241581,125	14829650	5,180853522	0,590041	17065,15
167	2	A	A	A	B	15118426,8	4487,8	0	216939	14897000	3,643783439	1	11837,8
168	2	A	A	A	A	138045591,9	15803,35	1,24E+08	242313,5	14007800	3,99156672	0,691193	18034,325
169	3	B	B	B	B	8340410	11060	0	121350	8208000	4,829420625	1	11870
170	3	B	B	B	A	36296097,9	18291,025	27932925	131231,875	8213650	5,027397791	0,618415	21619,25
171	3	B	B	A	B	8383265	11052	1,77E-08	121413	8250800	3,563833489	1	11883,1
172	3	B	B	A	A	34748503,03	18044,5198	26209596	129762,345	8391100	3,784096749	0,587935	21517,51595
173	3	B	A	B	B	8266855	11030	0	121425	8134400	4,831937432	1	11885
174	3	B	A	B	A	106822551,8	18511,5	98636650	130490,25	8036900	5,016849196	0,355045	19087,375
175	3	B	A	A	B	8216279,6	11025,6	0	121454	8083800	3,562023203	1	11890,8
176	3	B	A	A	A	104053081,1	20272,375	95688050	126658,75	8218100	3,840180515	0,3345	20938,3

177	3	M	B	B	B	8407040	8690	0	121950	8276400	4,829420625	1	11990
178	3	M	B	B	A	39034047,28	14636,525	30596325	133135,75	8289950	5,075803996	0,587779	19838,375
179	3	M	B	A	B	8388964,2	8678,2	1,07E-08	121886	8258400	3,561755638	1	11977,7
180	3	M	B	A	A	32056502,4	17186,1622	23408052	125363,776	8505900	3,729860611	0,60695	19871,81053
181	3	M	A	B	B	8246870	8695	0	121975	8116200	4,829420625	1	11995
182	3	M	A	B	A	109199929,9	14881,9174	1,01E+08	133948	8091450	5,095151221	0,356582	18417,43348
183	3	M	A	A	B	8248700	8700	0	122000	8118000	3,562023203	1	12000
184	3	M	A	A	A	116568806,2	15504,325	1,08E+08	134001,875	8135300	3,90007645	0,443784	19340,1
185	3	A	B	B	B	8481050	6600	5,75E-09	122450	8352000	4,829420625	1	12090
186	3	A	B	B	A	42467206,6	12497,35	34009525	131934,25	8313250	5,052874603	0,534769	18519,9
187	3	A	B	A	B	8493389	6600	0	122389	8364400	3,562794575	1	12078,3
188	3	A	B	A	A	43617506,63	11456,2151	35085946	135854,084	8384250	3,826845592	0,471952	19650,42041
189	3	A	A	B	B	8286200	6600	8,63E-08	122000	8157600	4,829420625	1	18600
190	3	A	A	B	A	110708451,6	14677,6424	1,02E+08	135499	8082350	5,129009085	0,36805	18659,60277
191	3	A	A	A	B	8286200	6600	0	122000	8157600	3,562023203	1	18600
192	3	A	A	A	A	110006502,2	17396,075	1,02E+08	129006,125	8169050	3,841475408	0,419218	19569,05
193	4	B	B	B	B	6500550	17800	0	108750	6374000	3,2941602	1	11800
194	4	B	B	B	A	41154094,2	25071,075	34565550	120823,125	6442650	3,493010114	0,537936	24407,525
195	4	B	B	A	B	6539345	17847,5	0	109497,5	6412000	2,447817072	1	11949,5
196	4	B	B	A	A	35580401,06	26325,7149	28793112	114013,5	6646950	2,591374794	0,53126	25182,98974
197	4	B	A	B	B	6406345	17920	0	108625	6279800	3,296317474	1	11775
198	4	B	A	B	A	115270344,5	25679,9	1,09E+08	117389,625	6310250	3,439080942	0,479087	21353,07767
199	4	B	A	A	B	6375349,2	17851,7	1,13E-09	109497,5	6248000	2,446374087	1	11949,5
200	4	B	A	A	A	38585821,29	25053,5246	31938375	118442,479	6503950	2,614928043	0,486943	25202,09324
201	4	M	B	B	B	6586900	14400	0	108500	6464000	3,2941602	1	11750
202	4	M	B	B	A	39829868,28	21377,275	33199925	118566	6490000	3,447739507	0,550321	21930,125
203	4	M	B	A	B	6579703,2	14393,2	0	108510	6456800	2,446374087	1	11752
204	4	M	B	A	A	35043615,21	21968,6841	28112097	113649,871	6795900	2,581184702	0,540193	21556,1351
205	4	M	A	B	B	6436370	15295	0	109675	6311400	3,295957936	1	11985
206	4	M	A	B	A	113482866,8	23035,575	1,07E+08	117231,25	6324750	3,429678358	0,468308	20938,425

207	4	M	A	A	B	6431037,2	15295,7	0	109741,5	6306000	2,448171823	1	11998,3
208	4	M	A	A	A	35823655,43	23477,0455	29123241	114337,133	6562600	2,589113944	0,524603	24406,00682
209	4	A	B	B	B	6674350	11100	0	109250	6554000	3,2941602	1	11900
210	4	A	B	B	A	41344729,73	17506,1	34605225	116848,625	6605150	3,423004504	0,527787	18968,11905
211	4	A	B	A	B	6703591,9	11087,9	0	109104	6583400	2,447815482	1	11870,8
212	4	A	B	A	A	36378109,84	21089,197	29413150	110120,326	6833750	2,554769389	0,50919	19225,03739
213	4	A	A	B	B	6551950	11100	0	109250	6431600	3,297396065	1	11900
214	4	A	A	B	A	111956358,1	23876,825	1,05E+08	119206,25	6347350	3,472226646	0,428865	20708,96175
215	4	A	A	A	B	6479842,2	11090,2	0	109152	6359600	2,446374087	1	11880,4
216	4	A	A	A	A	41729086,04	17363,0093	34956076	116146,965	6639500	2,59851344	0,440531	20414,99741
217	5	B	B	B	B	16929000	3300	0	229700	16696000	6,48508614	1	12040
218	5	B	B	B	A	72887478,03	10916,775	56223500	257061,25	16396000	6,929402191	0,228201	22056,575
219	5	B	B	A	B	16929022,5	3300	0	229722,5	16696000	4,823767898	1	12044,5
220	5	B	B	A	A	83236769,43	14360,175	68235250	256009,25	14731150	5,344051021	0,077767	21078,55591
221	5	B	A	B	B	16842600	3300	0	229700	16609600	6,48508614	1	12040
222	5	B	A	B	A	107861788,2	10074,175	91334725	262789	16254200	7,033483559	0,225556	22057,125
223	5	B	A	A	B	16842601	3300	0	229701	16609600	4,823767898	1	12040,2
224	5	B	A	A	A	115294752,9	13173,225	1,01E+08	260554,625	14319550	5,373960082	0,348043	20835,79811
225	5	M	B	B	B	16981400	2150	0	229250	16750000	6,48508614	1	11950
226	5	M	B	B	A	72672037,83	9732,825	55925650	254255	16482400	6,880319311	0,226911	21381,825
227	5	M	B	A	B	16981400	2150	0	229250	16750000	4,823767898	1	11950
228	5	M	B	A	A	94843738,45	11120,325	80610400	266518,125	13955700	5,378538483	0,070236	19458,55
229	5	M	A	B	B	16873400	2150	0	229250	16642000	6,48508614	1	11950
230	5	M	A	B	A	108159601,5	9283,85	91633150	258867,625	16258300	6,963842675	0,236814	21584,125
231	5	M	A	A	B	16873400	2150	0	229250	16642000	4,823767898	1	11950
232	5	M	A	A	A	110218285,6	13856,725	96221075	248753,875	13734600	5,24872475	0,329274	19087,675
233	5	A	B	B	B	17124350	1100	0	229250	16894000	6,48508614	1	11950
234	5	A	B	B	A	78808386,15	7488,025	62116675	256923,125	16427300	6,914416289	0,147994	22559,075
235	5	A	B	A	B	17460500	0	0	228500	17232000	4,806159785	1	11850
236	5	A	B	A	A	99520120,83	11450,45	87160800	256570,375	12091300	5,260228477	0,187178	21717,1
237	5	A	A	B	B	16958750	1100	0	229250	16728400	6,48508614	1	11950

	238	5	A	A	B	A	110011110,8	6751,55	93703725	260884,25	16039750	6,987167017	0,262286	22727,05
	239	5	A	A	A	B	16958750	1100	0	229250	16728400	4,823767898	1	11950
	240	5	A	A	A	A	126878865,1	9641,475	1,14E+08	263873,625	12322950	5,322104971	0,54272	21642,95
REPLICA-3	241	1	B	B	B	B	4630560	26760	0	99000	4504800	1,662442436	1	11910
	242	1	B	B	B	A	21705277,95	34096,325	17070600	103731,625	4496850	1,716674276	0,769522	29712,6
	243	1	B	B	A	B	4632921,6	29121,6	4,9E-11	99000	4504800	1,239262203	1	9351,6
	244	1	B	B	A	A	20865320,45	36496,95	15947625	106998,5	4774200	1,322394954	0,752454	31259,35
	245	1	B	A	B	B	4580000	26400	0	99000	4454600	1,662771462	1	12300
	246	1	B	A	B	A	90356835,98	33576,975	85773325	101784	4448150	1,707442553	0,17043	26472,075
	247	1	B	A	A	B	4580000	26400	0	99000	4454600	1,234596657	1	12300
	248	1	B	A	A	A	18508959,4	36976,525	13785625	99207,875	4587150	1,289934605	0,768709	28602,25
	249	1	M	B	B	B	4756800	22800	0	94000	4640000	1,662771462	1	11300
	250	1	M	B	B	A	22894298,03	28917,4	18073975	101905,625	4689500	1,707229738	0,752724	25656,1
	251	1	M	B	A	B	4725592	22800	0	93992	4608800	1,233334147	1	11299
	252	1	M	B	A	A	25529608,43	28721,5499	20428600	102786,876	4969500	1,313741843	0,681992	26903,34968
	253	1	M	A	B	B	4627200	22800	0	94000	4510400	1,662771462	1	11300
	254	1	M	A	B	A	91987951,8	28726,05	87299375	101900,75	4557950	1,715792114	0,186448	23868,925
	255	1	M	A	A	B	4627200	22800	0	94000	4510400	1,234596657	1	11300
	256	1	M	A	A	A	26038871,3	29444,0404	21082949	103278,125	4823200	1,316988332	0,661651	25667,96376
	257	1	A	B	B	B	4879200	16800	0	96000	4766400	1,659131876	1	11715
	258	1	A	B	B	A	28339298,05	21723,925	23376050	105524,125	4836000	1,740172981	0,68861	22413,4
	259	1	A	B	A	B	4831744	14176	5,92E-08	95968	4721600	1,224483515	1	11809,4
	260	1	A	B	A	A	27649188,66	20925,9893	22418549	100313,562	5109400	1,292577742	0,64187	20027,68313
	261	1	A	A	B	B	4735200	17200	0	96000	4622000	1,662771462	1	11700
	262	1	A	A	B	A	91744854,78	24189,9	86967025	100489,875	4653150	1,691874171	0,205001	21400,475
	263	1	A	A	A	B	4718980	17200	3,68E-11	95980	4605800	1,234171415	1	11697,5
	264	1	A	A	A	A	31123824,84	23367,7419	26025397	99110,3134	4975950	1,291544504	0,579499	20558,52045
	265	2	B	B	B	B	15186300	8800	0	217500	14960000	4,902617365	1	11950
	266	2	B	B	B	A	61606711,2	17523,325	46399625	243262,875	14946300	5,1904933	0,373959	20055,575
	267	2	B	B	A	B	15201890,4	8798,4	0	217492	14975600	3,644866903	1	11948,4

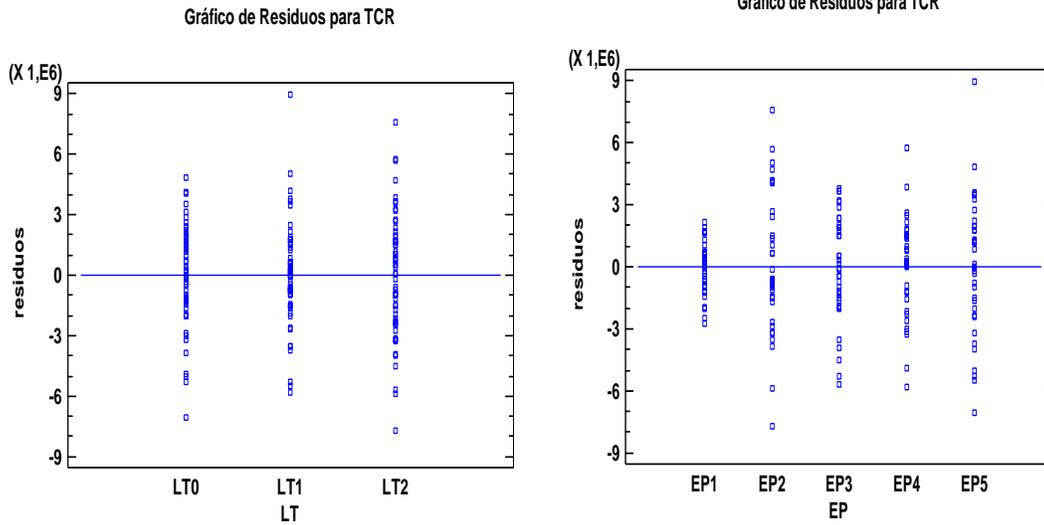
268	2	B	B	A	A	58645859,9	16983,607	43180775	234251,307	15213850	3,907563833	0,331336	21416,33986
269	2	B	A	B	B	15024300	8800	0	217500	14798000	4,902617365	1	11950
270	2	B	A	B	A	133232086,3	17032,6964	1,18E+08	245453,625	14780650	5,221274228	0,600596	18363,46874
271	2	B	A	A	B	15017095,2	8799,2	0	217496	14790800	3,643783439	1	11949,2
272	2	B	A	A	A	138730992,3	18059,325	1,24E+08	250033	14096150	4,037894688	0,657247	19930,75
273	2	M	B	B	B	15256500	6600	0	217900	15032000	4,902617365	1	12030
274	2	M	B	B	A	61802563,7	14444,95	46512900	241518,75	15033700	5,168249622	0,364159	18156,55
275	2	M	B	A	B	15256502	6600	0	217902	15032000	3,643783439	1	12030,4
276	2	M	B	A	A	60689633,05	14921,4414	45385412	234299,617	15055000	3,884117233	0,28409	20167,81257
277	2	M	A	B	B	15062200	6600	4,31E-09	218000	14837600	4,902617365	1	12050
278	2	M	A	B	A	130754677,7	14239,525	1,16E+08	241188,125	14827650	5,174122063	0,590299	17041,225
279	2	M	A	A	B	15062196,5	6600	0	217996,5	14837600	3,643783439	1	12049,3
280	2	M	A	A	A	134586980,1	17966,1	1,2E+08	231764	13963300	3,916154361	0,687866	18006,075
281	2	A	B	B	B	15361320	4470	0	216850	15140000	4,902617365	1	11820
282	2	A	B	B	A	69571392,63	11165	54191450	244327,625	15124450	5,207518997	0,264777	17001,9
283	2	A	B	A	B	15361353,6	4475,6	0	216878	15140000	3,643783439	1	11825,6
284	2	A	B	A	A	71343352,62	10275,1724	56685135	242392,501	14405550	3,88411189	0,133021	19083,37997
285	2	A	A	B	B	15118500	4500	0	217000	14897000	4,902617365	1	11850
286	2	A	A	B	A	137228681,7	10586,85	1,22E+08	247044,875	14934200	5,260174567	0,631069	16169,7
287	2	A	A	A	B	15118426,8	4487,8	0	216939	14897000	3,643783439	1	11837,8
288	2	A	A	A	A	146971221,1	11451,625	1,33E+08	247619,5	13263850	3,994813596	0,787506	16876,6
289	3	B	B	B	B	8340410	11060	0	121350	8208000	4,829420625	1	11870
290	3	B	B	B	A	40119560,48	17207,6	31738850	135552,875	8227950	5,129466768	0,5765	21703,725
291	3	B	B	A	B	8383265	11052	1,77E-08	121413	8250800	3,563833489	1	11883,1
292	3	B	B	A	A	35848146,87	19631,1176	27289495	129570,844	8409450	3,775044365	0,559475	22816,54629
293	3	B	A	B	B	8266855	11030	0	121425	8134400	4,831937432	1	11885
294	3	B	A	B	A	107673561,8	17743,5295	99446825	132043,25	8076950	5,057752987	0,351284	19188,775
295	3	B	A	A	B	8216279,6	11025,6	0	121454	8083800	3,562023203	1	11890,8
296	3	B	A	A	A	108133953	18288,825	99763650	132114,125	8219900	3,874105536	0,352046	20336,9
297	3	M	B	B	B	8407040	8690	0	121950	8276400	4,829420625	1	11990

298	3	M	B	B	A	37200170,4	15363,9	28794850	130456,5	8259500	5,009408287	0,603997	19847,2
299	3	M	B	A	B	8388964,2	8678,2	1,07E-08	121886	8258400	3,561755638	1	11977,7
300	3	M	B	A	A	34086135,74	18040,0378	25442981	124264,795	8500850	3,712059753	0,589546	20422,77528
301	3	M	A	B	B	8246870	8695	0	121975	8116200	4,829420625	1	11995
302	3	M	A	B	A	111540077,9	15004,7475	1,03E+08	134223,125	8102450	5,103023011	0,38553	18211,32101
303	3	M	A	A	B	8248700	8700	0	122000	8118000	3,562023203	1	12000
304	3	M	A	A	A	113026885,6	17686,475	1,05E+08	130611,625	8130550	3,856087113	0,448119	20498,85
305	3	A	B	B	B	8481050	6600	5,75E-09	122450	8352000	4,829420625	1	12090
306	3	A	B	B	A	41504694,28	12147,775	33048125	132121,5	8312300	5,054161885	0,547463	18443,975
307	3	A	B	A	B	8493389	6600	0	122389	8364400	3,562794575	1	12078,3
308	3	A	B	A	A	34731815,36	14954,2601	26165442	124169,19	8427250	3,704139338	0,563354	19017,71794
309	3	A	A	B	B	8286200	6600	8,63E-08	122000	8157600	4,829420625	1	18600
310	3	A	A	B	A	111973029	15322,1543	1,04E+08	131831,875	8121750	5,055187328	0,413715	25878,92273
311	3	A	A	A	B	8286200	6600	0	122000	8157600	3,562023203	1	18600
312	3	A	A	A	A	113515236	16514,225	1,06E+08	129021,75	7860650	3,813467632	0,456055	25898,25
313	4	B	B	B	B	6500550	17800	0	108750	6374000	3,2941602	1	11800
314	4	B	B	B	A	36006849,08	25946,825	29460125	115927,25	6404850	3,397210065	0,595328	24475,7
315	4	B	B	A	B	6546787	17650,5	8,17E-11	109736,5	6419400	2,448350588	1	12017,1
316	4	B	B	A	A	34738470,89	26652,7419	27962824	112944,003	6636050	2,561309171	0,534714	24479,90953
317	4	B	A	B	B	6406345	17920	0	108625	6279800	3,296317474	1	11775
318	4	B	A	B	A	113985825,6	25348,375	1,08E+08	117802,25	6312500	3,448583133	0,466289	21454,33246
319	4	B	A	A	B	6375349,2	17851,7	1,13E-09	109497,5	6248000	2,446374087	1	11949,5
320	4	B	A	A	A	34143799,57	26516,2866	27518363	112020,129	6486900	2,564729377	0,550838	25336,70123
321	4	M	B	B	B	6586900	14400	0	108500	6464000	3,2941602	1	11750
322	4	M	B	B	A	38717931,85	21581,35	32075225	117475,5	6503650	3,430992675	0,562494	21610,95
323	4	M	B	A	B	6579703,2	14393,2	0	108510	6456800	2,446374087	1	11752
324	4	M	B	A	A	34858943,88	23085,8415	27952584	112323,958	6770950	2,56740867	0,533626	22367,60794
325	4	M	A	B	B	6447785	16460	0	109125	6322200	3,295957936	1	11875
326	4	M	A	B	A	106150877	24370,6	99683150	116006,375	6327350	3,413491369	0,373577	21430,275
327	4	M	A	A	B	6459762	16456	0	109506	6333800	2,44853136	1	11951,2
328	4	M	A	A	A	34786325,41	25436,9922	28119502	111636,195	6529750	2,546296421	0,534833	24537,04694

329	4	A	B	B	B	6674350	11100	0	109250	6554000	3,2941602	1	11900
330	4	A	B	B	A	44789041,7	17098,2	38008650	119193,5	6644100	3,472710048	0,489161	19209,375
331	4	A	B	A	B	6703591,9	11087,9	0	109104	6583400	2,447815482	1	11870,8
332	4	A	B	A	A	35418140,59	19826,7461	28487789	111575,31	6798950	2,5482449	0,532958	18980,09465
333	4	A	A	B	B	6551950	11100	0	109250	6431600	3,297396065	1	11900
334	4	A	A	B	A	109012430,5	17883,483	1,02E+08	116505,375	6424300	3,430439371	0,386956	18363,75903
335	4	A	A	A	B	6479842,2	11090,2	0	109152	6359600	2,446374087	1	11880,4
336	4	A	A	A	A	36409159,69	20401,6838	29611235	110723,033	6666800	2,552800396	0,502364	19841,51781
337	5	B	B	B	B	16929000	3300	0	229700	16696000	6,48508614	1	12040
338	5	B	B	B	A	74059719,5	10354,25	57383850	259615,25	16405900	6,97377984	0,216034	22299,55
339	5	B	B	A	B	16929022,5	3300	0	229722,5	16696000	4,823767898	1	12044,5
340	5	B	B	A	A	83930271,6	11771,85	68925825	264424,75	14728250	5,393542205	0,079342	20624,81592
341	5	B	A	B	B	16842600	3300	0	229700	16609600	6,48508614	1	12040
342	5	B	A	B	A	102743593,9	10893,175	86178125	255125,75	16299450	6,903191121	0,182745	21609,375
343	5	B	A	A	B	16842601	3300	0	229701	16609600	4,823767898	1	12040,2
344	5	B	A	A	A	118199589,5	10114,65	1,04E+08	270724,875	14385400	5,474730799	0,335475	20312,76544
345	5	M	B	B	B	16981400	2150	0	229250	16750000	6,48508614	1	11950
346	5	M	B	B	A	74311568,1	8835,475	57562675	257407,625	16482650	6,940129399	0,214985	21554,75
347	5	M	B	A	B	16981400	2150	0	229250	16750000	4,823767898	1	11950
348	5	M	B	A	A	82174769,53	11301,4	67988575	254993,125	13919900	5,302820804	0,055971	19079,375
349	5	M	A	B	B	16873400	2150	0	229250	16642000	6,48508614	1	11950
350	5	M	A	B	A	106480909,1	8716,075	89900100	260493	16311600	6,997339233	0,214597	21653,225
351	5	M	A	A	B	16873400	2150	0	229250	16642000	4,823767898	1	11950
352	5	M	A	A	A	116912514,2	13058,475	1,03E+08	255005,75	13687250	5,309391762	0,418144	19335,8
353	5	A	B	B	B	17124350	1100	0	229250	16894000	6,48508614	1	11950
354	5	A	B	B	A	78881991,6	7229,475	62215000	257462,125	16402300	6,924289403	0,144887	22688,125
355	5	A	B	A	B	17460500	0	0	228500	17232000	4,806159785	1	11850
356	5	A	B	A	A	98421832,9	13263,9	85979750	250919	12177900	5,198351429	0,194992	22222,05
357	5	A	A	B	B	16958750	1100	0	229250	16728400	6,48508614	1	11950

	358	5	A	A	B	A	106990926,8	7855,75	90634375	256146	16092550	6,905468208	0,238871	22125,975
	359	5	A	A	A	B	16958750	1100	0	229250	16728400	4,823767898	1	11950
	360	5	A	A	A	A	122645122,1	10010,375	1,1E+08	258486,75	12433750	5,279019188	0,467137	21121,225

**Anexo 3 Gráfico de residuos para TCR (LT y EP) Dispersión por factor**



**Anexo 4 Análisis de varianza para TCR-Sum de cuadrados tipo -III.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:EP	8,90852E16	4	2,22713E16	2603,55	0,0000
B:LT	9,86549E14	2	4,93274E14	57,66	0,0000
C:CM	1,09799E17	1	1,09799E17	12835,71	0,0000
D:HD	6,4536E15	1	6,4536E15	754,43	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	3,20687E14	8	4,00859E13	4,69	0,0000
AC	1,68088E16	4	4,20221E15	491,24	0,0000
AD	1,8786E16	4	4,6965E15	549,03	0,0000
BC	8,67595E13	2	4,33797E13	5,07	0,0074
BD	1,83209E14	2	9,16045E13	10,71	0,0000
CD	6,50648E15	1	6,50648E15	760,62	0,0000
ACD	1,48303E16	4	3,70758E15	433,42	0,0000
RESIDUOS	1,24036E15	145	8,55422E12		
TOTAL (CORREGIDO)	2,6539E17	178			

**Anexo 5 Prueba de rangos múltiples y contrastes para TCR y los factores LT y EP.**

LT	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
LT0	59	7,11289E7	415233,	x
LT1	60	7,24908E7	411142,	x
LT2	60	7,66385E7	411142,	x

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
LT0 - LT1	*	-1,36189E6	1,15467E6
LT0 - LT2	*	-5,50964E6	1,15467E6
LT1 - LT2	*	-4,14775E6	1,14894E6

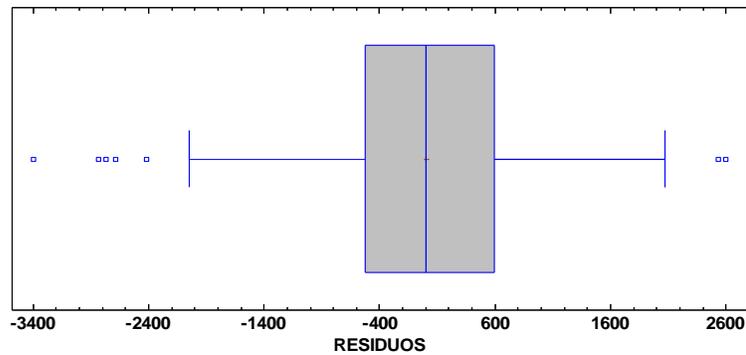
EP	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
EP1	36	4,13645E7	530782,	X
EP4	35	5,64396E7	539556,	X
EP3	36	7,41494E7	530782,	X
EP5	36	9,72279E7	530782,	X
EP2	36	9,79154E7	530782,	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
EP1 - EP2	*	-5,65509E7	1,48328E6
EP1 - EP3	*	-3,27848E7	1,48328E6
EP1 - EP4	*	-1,50751E7	1,49559E6
EP1 - EP5	*	-5,58634E7	1,48328E6
EP2 - EP3	*	2,37661E7	1,48328E6
EP2 - EP4	*	4,14758E7	1,49559E6
EP2 - EP5		687559,	1,48328E6
EP3 - EP4	*	1,77097E7	1,49559E6
EP3 - EP5	*	-2,30785E7	1,48328E6
EP4 - EP5	*	-4,07882E7	1,49559E6

## ANEXOS PARA HCR

### Anexo 6 Gráfica de Caja y Bigotes para residuos de HCR.

Gráfica de Caja y Bigotes



### Anexo 7 Gráfico de residuos para HCR (LT y EP) Dispersión por factor

Gráfico de Residuos para HCR

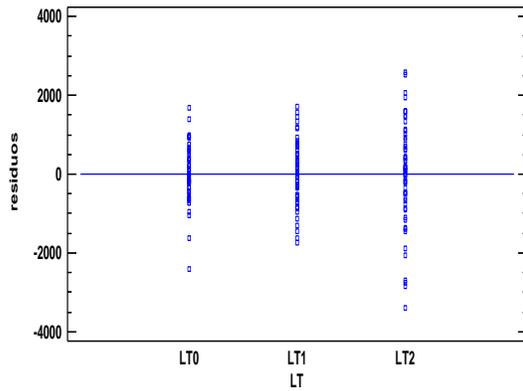
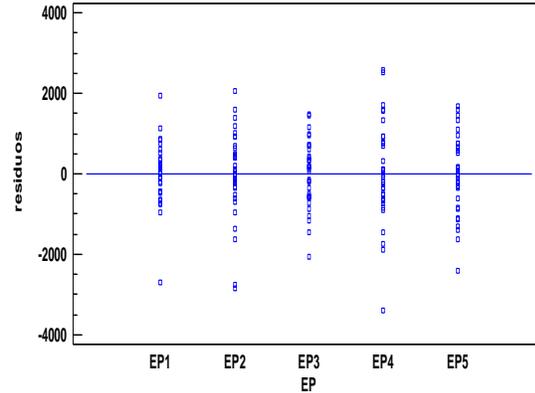


Gráfico de Residuos para HCR



### Anexo 8 Analisis de varianza para HCR

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:EP	7,59589E9	4	1,89897E9	1497,62	0,0000
B:LT	1,10897E9	2	5,54486E8	437,29	0,0000
C:CM	2,0913E7	1	2,0913E7	16,49	0,0001
D:HD	6,61073E7	1	6,61073E7	52,14	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	3,14621E8	8	3,93276E7	31,02	0,0000
AC	1,40501E7	4	3,51253E6	2,77	0,0300
AD	3,74791E7	4	9,36978E6	7,39	0,0000
BC	3,29127E7	2	1,64564E7	12,98	0,0000
BD	1,79914E7	2	8,99568E6	7,09	0,0012
CD	7,09285E6	1	7,09285E6	5,59	0,0195
ABC	2,41251E7	8	3,01564E6	2,38	0,0202
ABD	4,3486E7	8	5,43575E6	4,29	0,0001
ACD	2,09574E7	4	5,23935E6	4,13	0,0035
BCD	1,10834E7	2	5,5417E6	4,37	0,0146
RESIDUOS	1,62303E8	128	1,26799E6		
TOTAL (CORREGIDO)	9,47799E9	179			

### Anexo 9 Prueba de Normalidad -Shapiro Wilk para HCR

#### Pruebas de Normalidad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,973365	0,078608

### Anexo 10 Prueba de rangos Múltiples y contrastes para HCR y los factores LT y EP

LT	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
LT2	60	15726,8	145,373	X
LT1	60	18868,6	145,373	X
LT0	60	21805,6	145,373	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
LT0 - LT1	*	2936,92	406,792
LT0 - LT2	*	6078,79	406,792
LT1 - LT2	*	3141,87	406,792

EP	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
EP5	36	10635,1	187,675	X
EP2	36	15100,7	187,675	X
EP3	36	16242,2	187,675	X
EP4	36	22843,1	187,675	X
EP1	36	29180,6	187,675	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
EP1 - EP2	*	14079,9	525,166
EP1 - EP3	*	12938,4	525,166
EP1 - EP4	*	6337,45	525,166
EP1 - EP5	*	18545,5	525,166
EP2 - EP3	*	-1141,55	525,166
EP2 - EP4	*	-7742,48	525,166
EP2 - EP5	*	4465,59	525,166
EP3 - EP4	*	-6600,93	525,166
EP3 - EP5	*	5607,14	525,166
EP4 - EP5	*	12208,1	525,166

#### Anexo 11 Resumen de los costos para los factores LT y EP

Estructura de costos para los factores EP - LT, y las variables de respuestas en función de costos

Estructura y niveles	TCR	HCR	BCR	PCR	SCR
1	1.489.122.957	1.050.501	1.313.744.343	3.679.113	170.649.000
A	541.855.129	278.737	481.725.658	1.221.784	58.628.950
B	452.405.947	422.808	395.770.775	1.237.464	54.974.900
M	494.861.880	348.956	436.247.910	1.219.865	57.045.150
2	3.524.955.715	543.624	2.987.099.501	8.643.040	528.669.550
A	1.213.432.310	150.097	1.035.817.733	2.893.081	174.571.400
B	1.148.261.590	210.872	967.948.941	2.892.377	177.209.400
M	1.163.261.814	182.655	983.332.827	2.857.583	176.888.750
3	2.559.913.003	580.781	2.259.856.319	4.697.853	294.778.050
A	803.094.761	167.209	704.410.112	1.552.340	96.965.100
B	865.114.597	221.990	764.611.943	1.574.813	98.705.850
M	891.703.646	191.582	790.834.265	1.570.699	99.107.100
4	2.110.578.319	822.353	1.870.021.975	4.160.992	235.573.000
A	691.099.774	233.462	610.045.832	1.386.330	79.434.150
B	756.222.997	311.058	676.889.262	1.394.876	77.627.800
M	663.255.549	277.832	583.086.881	1.379.786	78.511.050
5	3.500.203.593	382.862	2.951.662.451	9.285.529	538.872.750
A	1.239.363.830	110.163	1.063.623.500	3.111.217	172.518.950
B	1.124.477.613	141.605	935.917.726	3.109.381	185.308.900
M	1.136.362.150	131.094	952.121.225	3.064.931	181.044.900
<b>Total general</b>	<b>13.184.773.587</b>	<b>3.380.121</b>	<b>11.382.384.590</b>	<b>30.466.526</b>	<b>1.768.542.350</b>

**Anexo 12 Resumen de costos en porcentajes por estructura y variable.**

Resumen de los costos por estructura y % de participación en el costo total

Tipo de estructura	TCR	HCR	BCR	PCR	SCR
1	1.489.122.957	1.050.501	1.313.744.343	3.679.113	170.649.000
2	3.524.955.715	543.624	2.987.099.501	8.643.040	528.669.550
3	2.559.913.003	580.781	2.259.856.319	4.697.853	294.778.050
4	2.110.578.319	822.353	1.870.021.975	4.160.992	235.573.000
5	3.500.203.593	382.862	2.951.662.451	9.285.529	538.872.750
<b>Total general</b>	<b>13.184.773.587</b>	<b>3.380.121</b>	<b>11.382.384.590</b>	<b>30.466.526</b>	<b>1.768.542.350</b>
% de participación del total de TCR		0,03%	86,33%	0,23%	13,41%

**Anexo 13 Variabilidad de los Costos de Inventario (HCR)**

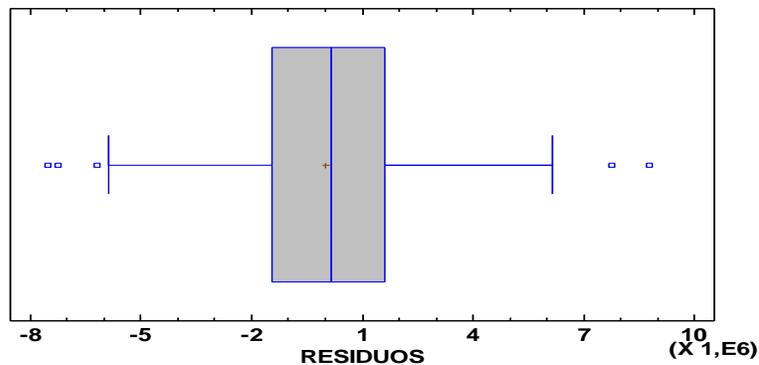
VARIACION DE LOS COSTOS PARA CADA EP				
HCR	COSTOS			
ESTRUCTURA	MAYOR	MENOR	VARIACION	%
EP1	35236	23193	0,5192515	51,9%
EP2	25882	19430	0,33206382	33,2%
EP3	18569	14376	0,29166667	29,2%
EP4	17387	12333	0,40979486	41,0%
EP5	11795	9107	0,29515757	29,5%

VARIACION DE LOS COSTOS PARA CADA EP				
HCR	COSTOS			
ESTRUCTURA	MAYOR	MENOR	VARIACION	%
LT0	35236	11688	2,01471595	201,5%
LT1	29322	11043	1,65525672	165,5%
LT2	22871	9322	1,45344347	145,3%

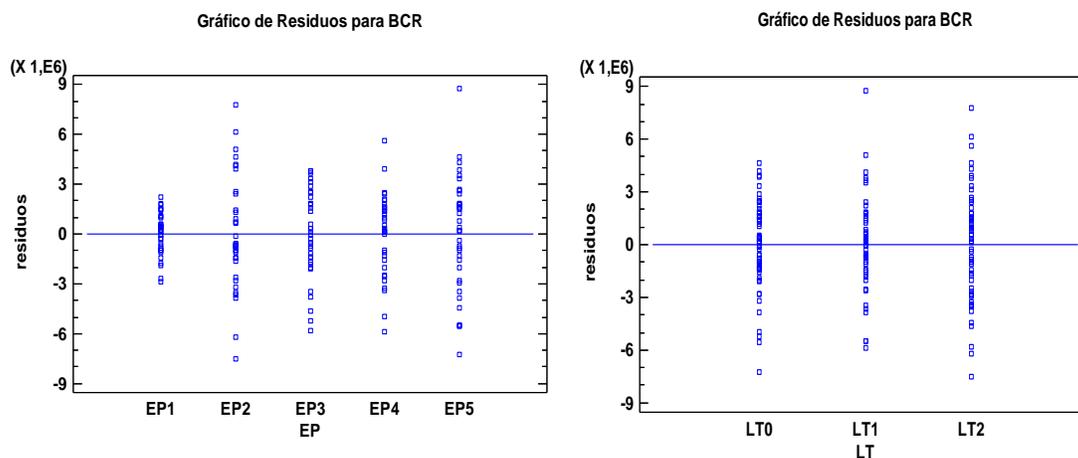
**ANEXOS PARA BCR**

**Anexo 14 Caja y bigote para Faltantes (BCR)**

Gráfica de Caja y Bigotes( BCR)



**Anexo 15 Gráfico de residuos para BCR (LT y EP) Dispersión por factor.**



**Anexo 16 Análisis de varianza para BCR**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:EP	5,90083E16	4	1,47521E16	1664,34	0,0000
B:LT	1,05186E15	2	5,25928E14	59,34	0,0000
C:CM	1,10886E17	1	1,10886E17	12510,25	0,0000
D:HD	5,90717E15	1	5,90717E15	666,45	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	3,84291E14	8	4,80364E13	5,42	0,0000
AC	1,70519E16	4	4,26298E15	480,95	0,0000
AD	2,03379E16	4	5,08448E15	573,63	0,0000
BC	9,28262E13	2	4,64131E13	5,24	0,0064
BD	2,24537E14	2	1,12269E14	12,67	0,0000
CD	6,44366E15	1	6,44366E15	726,98	0,0000
ACD	1,49451E16	4	3,73627E15	421,53	0,0000
RESIDUOS	1,28523E15	145	8,86364E12		
TOTAL (CORREGIDO)	2,38045E17	178			

**Anexo 17 Prueba de rangos múltiples y contrastes para BCR y los factores LT y EP**

LT	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
LT0	59	6,10213E7	388282,	x
LT1	60	6,24271E7	384353,	x
LT2	60	6,67226E7	384353,	x

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
LT0 - LT1	*	-1,40579E6	1,07983E6
LT0 - LT2	*	-5,70138E6	1,07983E6
LT1 - LT2	*	-4,2956E6	1,07432E6

EP	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
EP1	36	3,64929E7	496198,	x

EP4	35	4,97266E7	504623,	X
EP3	36	6,57665E7	496198,	X
EP5	36	8,19906E7	496198,	X
EP2	36	8,2975E7	496198,	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
EP1 - EP2	*	-4,64821E7	1,38694E6
EP1 - EP3	*	-2,92736E7	1,38694E6
EP1 - EP4	*	-1,32337E7	1,39877E6
EP1 - EP5	*	-4,54977E7	1,38694E6
EP2 - EP3	*	1,72085E7	1,38694E6
EP2 - EP4	*	3,32483E7	1,39877E6
EP2 - EP5		984362,	1,38694E6
EP3 - EP4	*	1,60398E7	1,39877E6
EP3 - EP5	*	-1,62242E7	1,38694E6
EP4 - EP5	*	-3,2264E7	1,39877E6

### Anexo 18 Variabilidad de los Costos de Faltantes (BCR).

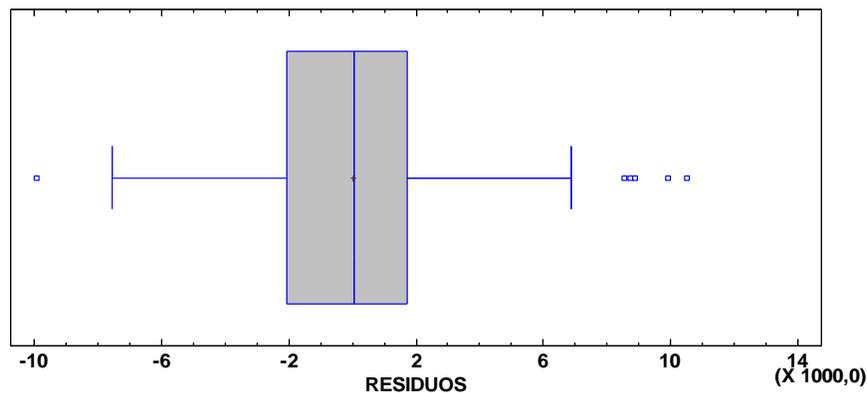
VARIACION DE LOS COSTOS PARA CADA EP				
HCR	COSTOS			
ESTRUCTURA	MAYOR	MENOR	VARIACION	%
EP1	4,04E+07	3,24E+07	0,24535848	24,5%
EP2	8,59E+07	8,02E+07	0,07194532	7,2%
EP3	6,79E+07	6,34E+07	0,07123591	7,1%
EP4	5,09E+07	4,94E+07	0,0304597	3,0%
EP5	8,86E+07	7,82E+07	0,13234726	13,2%

VARIACION DE LOS COSTOS PARA CADA LT				
HCR	COSTOS			
ESTRUCTURA	MAYOR	MENOR	VARIACION	%
LTO	7,76E+07	3,24E+07	1,39257357	139,3%
LT1	7,91E+07	3,65E+07	1,16608017	116,6%
LT2	8,86E+07	4,04E+07	1,19275709	119,3%

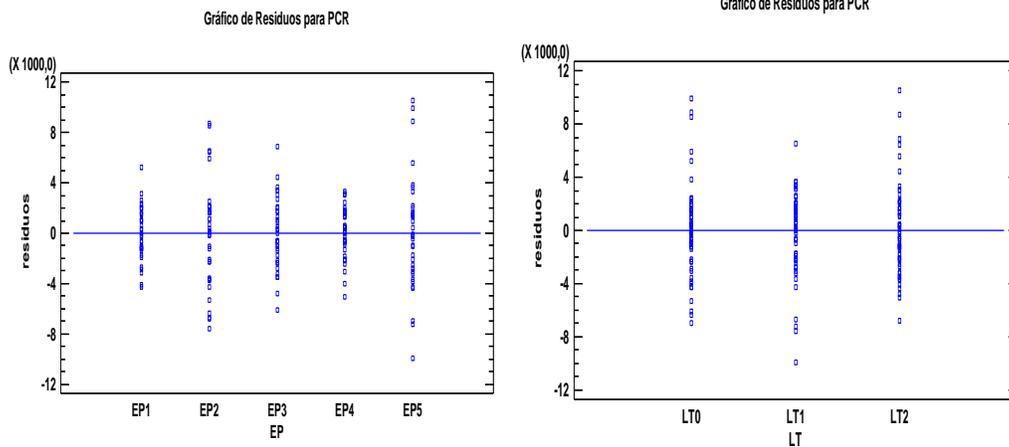
## ANEXOS PARA PCR

### Anexo 19 Caja y Bigote, datos atípicos para (PCR).

Gráfica de Caja y Bigotes PCR



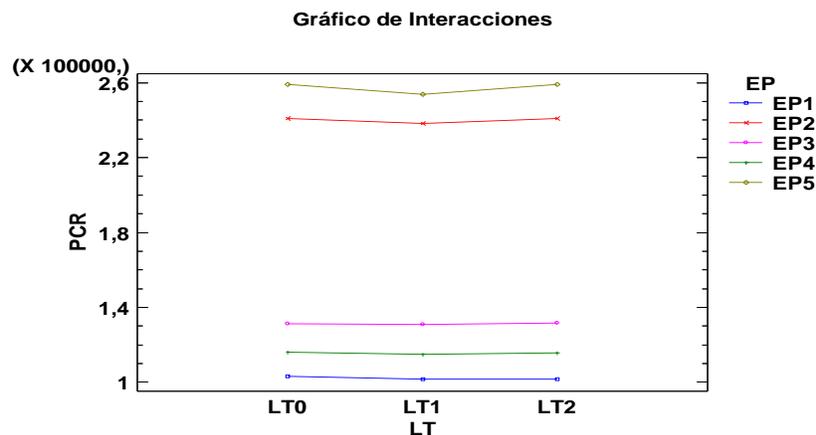
**Anexo 20 Gráfico de residuos para PCR (LT y EP) Dispersión por factor.**



**Anexo 21 Tabla Anova para los efectos principales e interacciones no activas, para la variable de respuesta PCR.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:EP	7,67586E11	4	1,91896E11	16790,30	0,0000
B:LT	1,73416E8	2	8,67079E7	7,59	0,0008
C:CM	2,04432E8	1	2,04432E8	17,89	0,0000
D:HD	3,60279E8	1	3,60279E8	31,52	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	1,33539E8	8	1,66923E7	1,46	0,1781
AC	1,80487E8	4	4,51216E7	3,95	0,0047
AD	2,17427E8	4	5,43566E7	4,76	0,0013
BC	7,01566E6	2	3,50783E6	0,31	0,7363
BD	4,18434E7	2	2,09217E7	1,83	0,1645
CD	2,29003E8	1	2,29003E8	20,04	0,0000
ABC	3,77971E7	8	4,72463E6	0,41	0,9112
ABD	6,95826E7	8	8,69783E6	0,76	0,6376
ACD	1,0783E8	4	2,69574E7	2,36	0,0569
BCD	1,46469E6	2	732346,	0,06	0,9380
RESIDUOS	1,45148E9	127	1,1429E7		
TOTAL (CORREGIDO)	7,74987E11	178			

**Anexo 22 Grafica de Interacciones no significativa factores LT y EP para PCR**



**Anexo 23 Tabla Anova para los efectos principales y la variable de respuesta PCR.**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:EP	7,70468E11	4	1,92617E11	16815,91	0,0000
B:LT	1,62788E8	2	8,13941E7	7,11	0,0011
C:CM	1,96054E8	1	1,96054E8	17,12	0,0001
D:HD	3,4927E8	1	3,4927E8	30,49	0,0000
INTERACCIONES					
AC	1,76352E8	4	4,4088E7	3,85	0,0051
AD	2,27184E8	4	5,6796E7	4,96	0,0009
CD	2,2015E8	1	2,2015E8	19,22	0,0000
RESIDUOS	1,84417E9	161	1,14544E7		
TOTAL (CORREGIDO)	7,74987E11	178			

**Anexo 24 Prueba de rangos múltiples y contrastes para PCR y los factores LT y EP.**

<i>LT</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
LT1	59	167996,	440,957	X
LT2	60	169874,	436,93	X
LT0	60	170149,	436,93	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
LT0 - LT1	*	2152,72	1225,9
LT0 - LT2		274,118	1220,26
LT1 - LT2	*	-1878,6	1225,9

<i>EP</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
EP1	36	102198,	564,074	X
EP4	36	115583,	564,074	X
EP3	36	131266,	564,074	X
EP2	36	240084,	564,074	X
EP5	35	257567,	572,712	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
EP1 - EP2	*	-137887,	1575,35
EP1 - EP3	*	-29068,1	1575,35
EP1 - EP4	*	-13385,5	1575,35
EP1 - EP5	*	-155369,	1587,46
EP2 - EP3	*	108819,	1575,35
EP2 - EP4	*	124501,	1575,35
EP2 - EP5	*	-17482,6	1587,46
EP3 - EP4	*	15682,6	1575,35
EP3 - EP5	*	-126301,	1587,46
EP4 - EP5	*	-141984,	1587,46

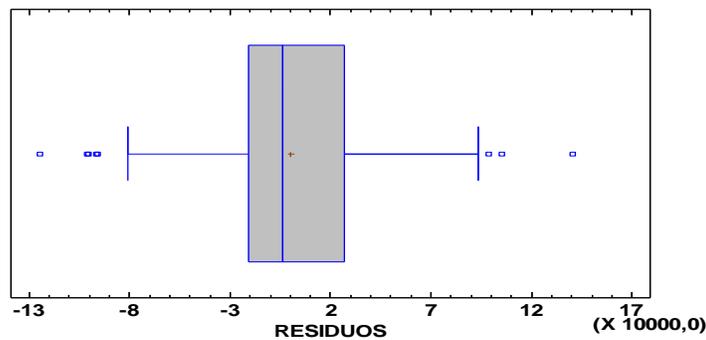
Anexo 25 Variabilidad de los Costos de Producción (PCR).

VARIACION DE LOS COSTOS PARA CADA EP Y LT (eje)							
HCR	COSTOS			DATOS		VARIACIONES	
ESTRUCTURA	LT0	LT1	LT2	MAYOR	MENOR	VARIACION	%
EP1	1,03E+05	1,01E+05	1,01E+05	1,03E+05	1,01E+05	1,50E-02	1,5%
EP2	2,41E+05	2,38E+05	2,41E+05	2,41E+05	2,38E+05	1,28E-02	1,3%
EP3	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05	0,00E+00	0,0%
EP4	1,16E+05	1,15E+05	1,16E+05	1,16E+05	1,15E+05	7,49E-03	0,7%
EP5	2,60E+05	2,54E+05	2,60E+05	2,60E+05	2,54E+05	2,25E-02	2,2%

ANEXOS PARA COSTOS DE SETUP (SCR)

Anexo 26 Caja y Bigote datos atípicos para los Costos de Setup (SCR).

Gráfica de Caja y Bigotes



Anexo 27 Variabilidad de los Costos de Setup (SCR).

Gráfico de Residuos para SCR

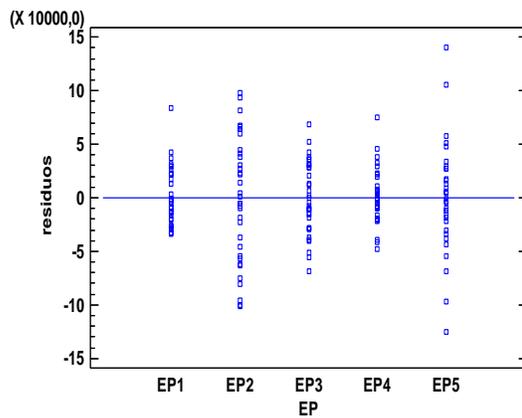
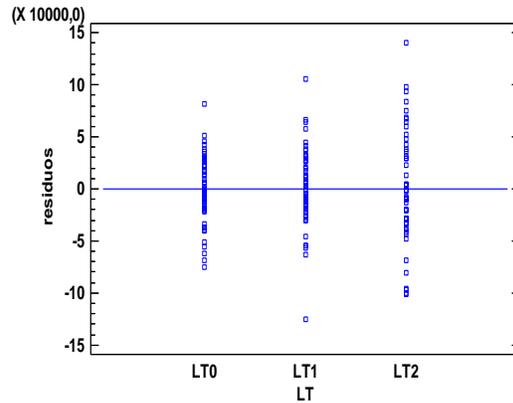


Gráfico de Residuos para SCR



Anexo 28 Tabla Anova modificada para los efectos principales y la variable de respuesta SCR.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:EP	2,75299E15	4	6,88248E14	302180,30	0,0000

B:LT	1,0605E12	2	5,30251E11	232,81	0,0000
C:CM	2,78859E12	1	2,78859E12	1224,35	0,0000
D:HD	1,13318E13	1	1,13318E13	4975,31	0,0000
INTERACCIONES					
AB	5,82537E12	8	7,28171E11	319,71	0,0000
AC	8,81433E11	4	2,20358E11	96,75	0,0000
AD	4,38236E13	4	1,09559E13	4810,27	0,0000
BC	2,72475E10	2	1,36237E10	5,98	0,0033
BD	2,06175E12	2	1,03088E12	452,61	0,0000
CD	2,48342E11	1	2,48342E11	109,04	0,0000
ABC	1,55711E11	8	1,94639E10	8,55	0,0000
ABD	4,20069E12	8	5,25086E11	230,54	0,0000
ACD	6,33941E11	4	1,58485E11	69,58	0,0000
BCD	1,25638E11	2	6,28188E10	27,58	0,0000
RESIDUOS	2,80146E11	123	2,27761E9		
TOTAL (CORREGIDO)	3,26118E15	174			

Anexo 29 Prueba de rangos múltiples y contrastes para SCR y los factores LT y EP.

LT	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
LT2	55	9,70232E6	7419,04	X
LT1	60	9,87662E6	6161,18	X
LT0	60	9,89711E6	6161,18	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
LT0 - LT1	*	20498,3	17247,3
LT0 - LT2	*	194793,	19089,3
LT1 - LT2	*	174295,	19089,3

EP	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
EP1	36	4,74025E6	7954,05	X
EP4	36	6,54369E6	7954,05	X
EP3	35	8,24474E6	8108,57	X
EP2	35	1,47033E7	8108,57	X
EP5	33	1,48947E7	10155,1	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
EP1 - EP2	*	-9,96309E6	22483,5
EP1 - EP3	*	-3,50449E6	22483,5
EP1 - EP4	*	-1,80344E6	22266,2
EP1 - EP5	*	-1,01545E7	25533,4
EP2 - EP3	*	6,4586E6	22690,4
EP2 - EP4	*	8,15965E6	22483,5
EP2 - EP5	*	-191380,	25626,6
EP3 - EP4	*	1,70105E6	22483,5
EP3 - EP5	*	-6,64998E6	25626,6
EP4 - EP5	*	-8,35103E6	25533,4

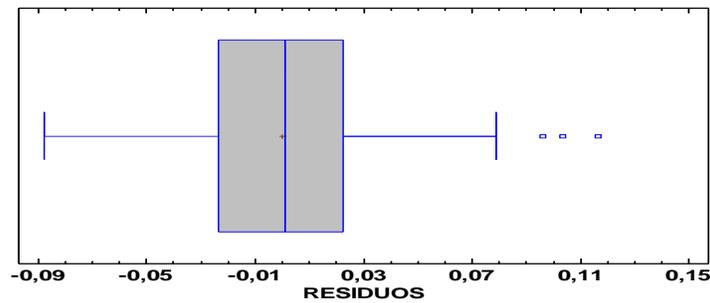
Anexo 30 Variabilidad de los Costos de Setup (SCR).

VARIACION DE LOS COSTOS PARA CADA EP Y LT (eje)							
SCR	COSTOS			DATOS		VARIACIONES	
ESTRUCTURA	LT0	LT1	LT2	MAYOR	MENOR	VARIACION	%
EP1	4,56E+06	4,69E+06	4,82E+06	4,82E+06	4,56E+06	5,66E-02	5,7%
EP2	1,48E+07	1,48E+07	1,46E+07	1,48E+07	1,46E+07	1,48E-02	1,5%
EP3	8,22E+06	8,22E+06	8,22E+06	8,22E+06	8,22E+06	0,00E+00	0,0%
EP4	6,45E+06	6,45E+06	6,62E+06	6,62E+06	6,45E+06	2,67E-02	2,7%
EP5	1,54E+07	1,51E+07	1,41E+07	1,54E+07	1,41E+07	9,79E-02	9,8%

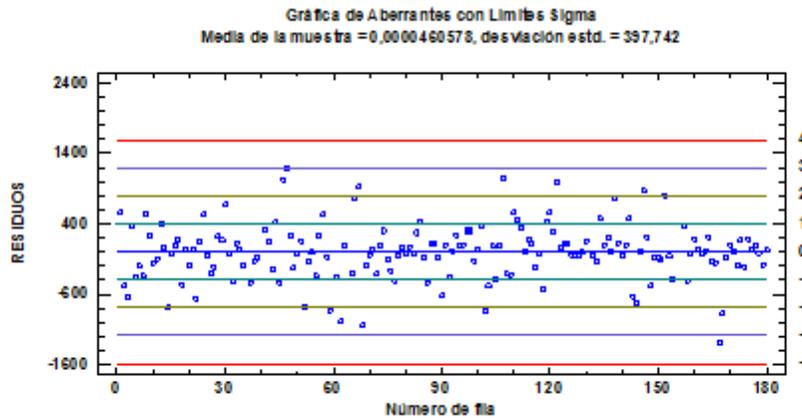
ANEXOS PARA HSR

Anexo 31 Variabilidad de la Complejidad (HSR).

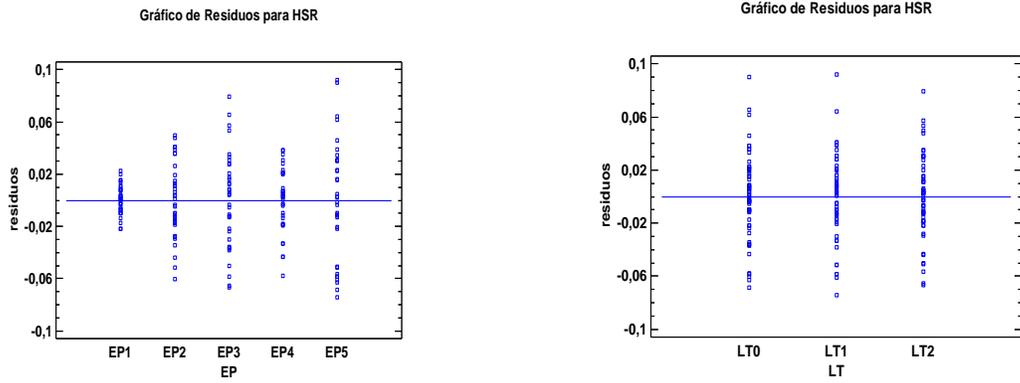
Gráfica de Caja y Bigotes HSR



Anexo 32 Grafica de aberrantes para ISR.



Anexo 33 Variabilidad de la Complejidad (HSR).



Anexo 34 Tabla Anova para la variable de respuesta HSR.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:EP	433,15	4	108,288	76699,53	0,0000
B:LT	0,0160031	2	0,00800154	5,67	0,0042
C:CM	0,0535197	1	0,0535197	37,91	0,0000
D:HD	52,4966	1	52,4966	37183,10	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0,0150515	8	0,00188144	1,33	0,2314
AC	0,0295648	4	0,00739121	5,24	0,0006
AD	7,63059	4	1,90765	1351,18	0,0000
BC	0,000487589	2	0,000243795	0,17	0,8416
CD	0,0360854	1	0,0360854	25,56	0,0000
RESIDUOS	0,213188	151	0,00141184		
TOTAL (CORREGIDO)	497,681	178			

Anexo 35 Tabla Anova modificada para la variable de respuesta HSR.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:EP	433,545	4	108,386	76286,65	0,0000
B:LT	0,0159014	2	0,00795071	5,60	0,0045
C:CM	0,0540141	1	0,0540141	38,02	0,0000
D:HD	52,503	1	52,503	36953,76	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AC	0,0295289	4	0,00738224	5,20	0,0006
AD	7,62845	4	1,90711	1342,30	0,0000
CD	0,0364884	1	0,0364884	25,68	0,0000
RESIDUOS	0,228745	161	0,00142078		
TOTAL (CORREGIDO)	497,681	178			

Anexo 36 Prueba de rangos múltiples y contrastes para HSR y los factores LT y EP.

LT	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
----	-------	----------	----------	-------------------

LT1	60	3,91898	0,00486617	X
LT2	59	3,92446	0,00491102	X
LT0	60	3,94109	0,00486617	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
LT0 - LT1	*	0,0221172	0,0135903
LT0 - LT2	*	0,0166295	0,013653
LT1 - LT2		-0,00548777	0,013653

EP	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
EP1	36	1,5092	0,0062822	X
EP4	36	3,00915	0,0062822	X
EP3	36	4,43762	0,0062822	X
EP2	36	4,55741	0,0062822	X
EP5	35	6,12751	0,00637841	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
EP1 - EP2	*	-3,04822	0,017545
EP1 - EP3	*	-2,92843	0,017545
EP1 - EP4	*	-1,49995	0,017545
EP1 - EP5	*	-4,61831	0,0176798
EP2 - EP3	*	0,119791	0,017545
EP2 - EP4	*	1,54827	0,017545
EP2 - EP5	*	-1,57009	0,0176798
EP3 - EP4	*	1,42848	0,017545
EP3 - EP5	*	-1,68989	0,0176798
EP4 - EP5	*	-3,11836	0,0176798

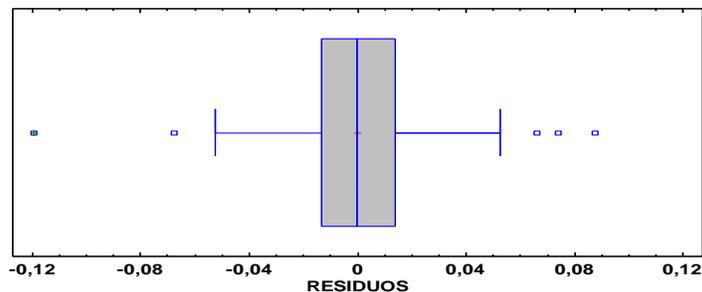
## ANEXOS PARA NSR

Anexo 37 Prueba Normalidad de rangos múltiples y contrastes para HSR y los factores LT y EP.

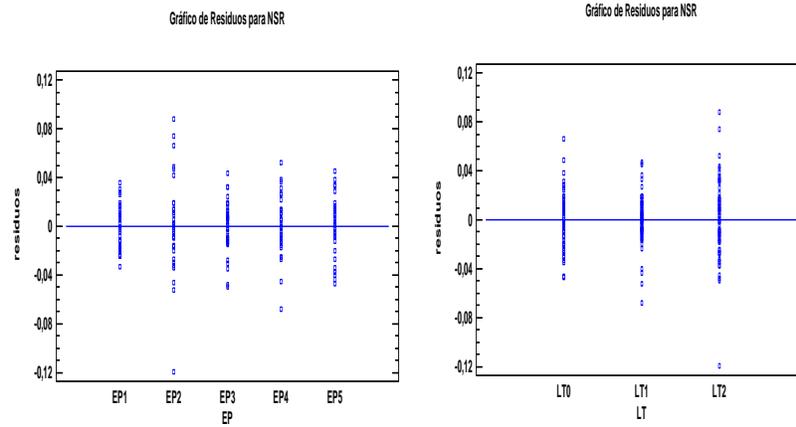
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,982027	0,489357

Anexo 38 Caja y Bigote, datos atípicos para NSR y los factores LT y EP.

Gráfica de Caja y Bigotes NSR



Anexo 39 Variabilidad del Nivel de Servicio (NSR).



Anexo 40 Tabla Anova para la variable de respuesta NSR.

EFECTOS PRINCIPALES					
A:EP	2,44965	4	0,612412	662,38	0,0000
B:LT	0,0261656	2	0,0130828	14,15	0,0000
C:CM	0,00901678	1	0,00901678	9,75	0,0022
D:HD	0,207949	1	0,207949	224,91	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,0825932	8	0,0103241	11,17	0,0000
AC	2,113	4	0,52825	571,35	0,0000
AD	0,257178	4	0,0642945	69,54	0,0000
BC	0,0428664	2	0,0214332	23,18	0,0000
BD	0,00157086	2	0,00078543	0,85	0,4300
CD	0,497684	1	0,497684	538,29	0,0000
ABC	0,0348874	8	0,00436092	4,72	0,0000
ABD	0,0857625	8	0,0107203	11,59	0,0000
ACD	0,347329	4	0,0868323	93,92	0,0000
RESIDUOS	0,120194	130	0,000924567		
TOTAL (CORREGIDO)	6,27585	179			

Anexo 41 Prueba de rangos múltiples y contrastes para NSR y los factores LT y EP.

LT	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
LT2	60	0,436868	0,00392549	X
LT0	60	0,461565	0,00392549	X
LT1	60	0,46324	0,00392549	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
LT0 - LT1		-0,00167489	0,010983
LT0 - LT2	*	0,0246976	0,010983
LT1 - LT2	*	0,0263725	0,010983

EP	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
EP5	36	0,231207	0,00506778	X
EP3	36	0,479991	0,00506778	X
EP2	36	0,480322	0,00506778	X

EP4	36	0,502901	0,00506778	x
EP1	36	0,575034	0,00506778	x

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
EP1 - EP2	*	0,0947114	0,0141789
EP1 - EP3	*	0,0950424	0,0141789
EP1 - EP4	*	0,0721327	0,0141789
EP1 - EP5	*	0,343827	0,0141789
EP2 - EP3		0,000331004	0,0141789
EP2 - EP4	*	-0,0225787	0,0141789
EP2 - EP5	*	0,249116	0,0141789
EP3 - EP4	*	-0,0229097	0,0141789
EP3 - EP5	*	0,248785	0,0141789
EP4 - EP5	*	0,271695	0,0141789

**Anexo 42 Porcentaje de participación de cada estructura por tipo de costo.**

Tipo de estructura	Tipos de Costos				
	TCR	HCR	BCR	PCR	SCR
1	11%	31%	12%	12%	10%
2	27%	16%	26%	28%	30%
3	19%	17%	20%	15%	17%
4	16%	24%	16%	14%	13%
5	27%	11%	26%	30%	30%
total	100%	100%	100%	100%	100%

**Anexo 43 Variabilidad de los Costos de Inventario.**

VARIACION DE LOS COSTOS PARA CADA LT-CM							
HCR	COSTOS			DATOS		VARIACION	
ESTRUCTURA	LT0	LT1	LT2	MAYOR	MENOR	VARIACION	%
CMB	3,58E+07	3,68E+07	4,27E+07	4,27E+07	3,58E+07	1,92E-01	19,2%
CMA	8,59E+07	8,80E+07	9,06E+07	9,06E+07	8,59E+07	5,44E-02	5,4%
VARIACION LT	1,40E+00	1,39E+00	1,12E+00				
VARIACION %	140%	139%	112%				

**Anexo 44 Porcentaje de participación por estructura.**

Estructura Producto	HSR	NSR
1	8%	25%
2	23%	21%
3	23%	22%

4	15%	22%
5	31%	10%
Total Porcentaje	100%	100%

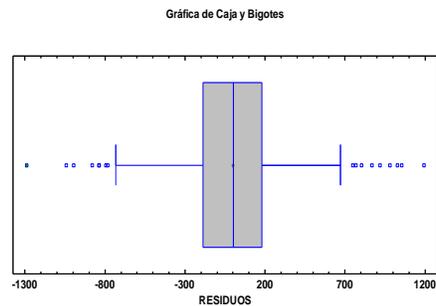
## ANEXOS PARA ISR (Nerviosismo)

### Prueba de Normalidad para los residuos de la variable ISR

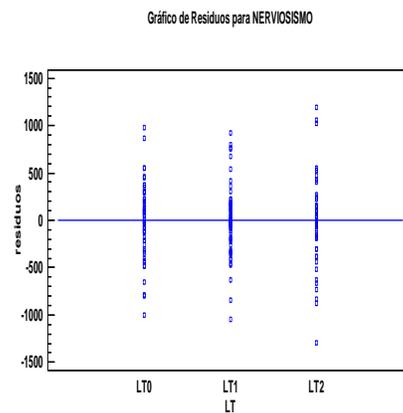
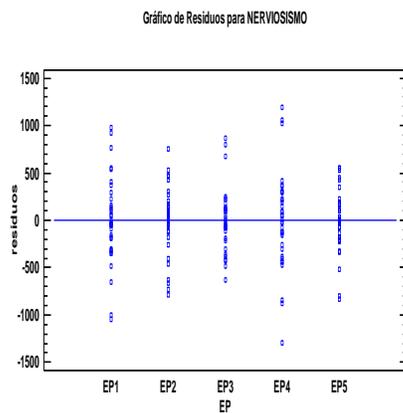
#### Anexo 45 Prueba Shapiro Wilk ISR

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,972005	0,0599759

#### Anexo 46 Grafica de caja y bigote para ISR



#### Anexo 47 Grafica residuos para ISR, factor LT y EP



#### Anexo 48 Anova para Nerviosismo del Sistema

#### Análisis de Varianza para NERVIOSISMO - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:EP	8,97414E8	4	2,24353E8	997,67	0,0000
B:LT	2,34442E8	2	1,17221E8	521,27	0,0000
C:CM	1,80204E7	1	1,80204E7	80,13	0,0000
D:HD	9,0793E6	1	9,0793E6	40,37	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	2,02128E8	8	2,5266E7	112,35	0,0000
AC	1,13222E7	4	2,83056E6	12,59	0,0000
AD	4,97015E7	4	1,24254E7	55,25	0,0000
BC	1,83022E7	2	9,15112E6	40,69	0,0000
BD	8,79945E6	2	4,39973E6	19,56	0,0000
CD	4,09568E6	1	4,09568E6	18,21	0,0000
ABC	1,39755E7	8	1,74694E6	7,77	0,0000
ABD	3,22472E7	8	4,0309E6	17,92	0,0000
ACD	6,93603E6	4	1,73401E6	7,71	0,0000
BCD	4,40894E6	2	2,20447E6	9,80	0,0001
RESIDUOS	2,72102E7	121	224878,		
TOTAL (CORREGIDO)	1,56146E9	172			

#### Anexo 49 Pruebas de Múltiple Rangos para NERVIOSISMO y LT

LT	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
LT2	55	19969,4	65,9382	X
LT1	60	21210,3	61,2206	X
LT0	58	22888,0	62,6626	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
LT0 - LT1	*	1677,76	173,437
LT0 - LT2	*	2918,61	180,235
LT1 - LT2	*	1240,85	178,133

#### Anexo 50 Pruebas de Múltiple Rangos para NERVIOSISMO por EP

EP	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
EP2	36	18465,3	79,0355	X
EP3	33	19816,9	86,2075	X
EP5	35	21221,3	80,5665	X
EP4	35	22015,0	80,5653	X
EP1	34	25261,0	81,9794	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
EP1 - EP2	*	6795,68	225,444
EP1 - EP3	*	5444,1	235,748
EP1 - EP4	*	3246,05	227,457
EP1 - EP5	*	4039,73	227,66
EP2 - EP3	*	-1351,58	231,543
EP2 - EP4	*	-3549,64	223,437
EP2 - EP5	*	-2755,95	223,438
EP3 - EP4	*	-2198,06	233,681
EP3 - EP5	*	-1404,37	233,444

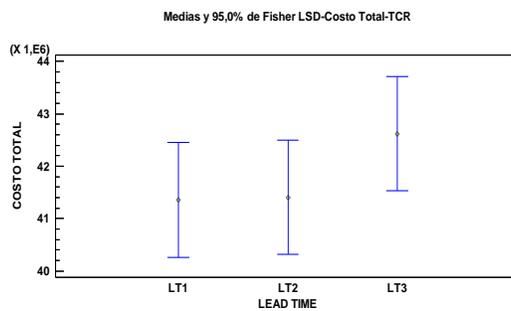
EP4 - EP5	*	793,687	225,606
-----------	---	---------	---------

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 51 Análisis de Varianza para COSTO TOTAL (TCR)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:EP	6,43188E16	4	1,60797E16	217,78	0,0000
B:LEAD TIME	1,23079E14	2	6,15395E13	0,83	0,4356
C:CM	5,41932E16	1	5,41932E16	733,98	0,0000
D:HD	3,42537E15	1	3,42537E15	46,39	0,0000
E:CV	3,56176E17	1	3,56176E17	4824,00	0,0000
INTERACCIONES					

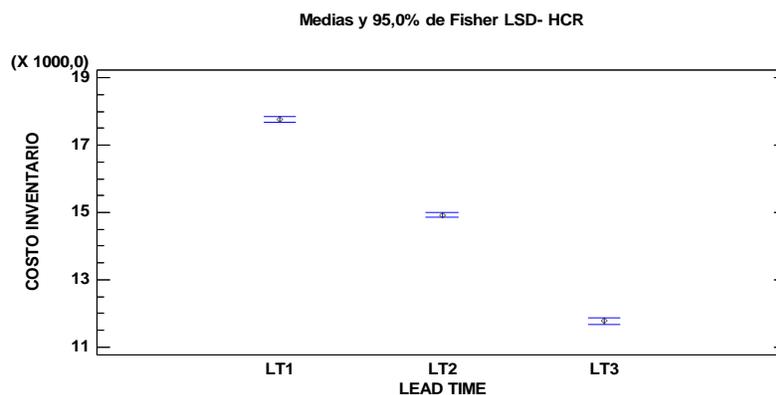
### Anexo 52 Grafica de medias Costo Total (TCR)



### Anexo 53 Gráfico de medias y Normalidad (SW), para el Factor LT y EP y la VR Costo de inventario

#### Análisis de Varianza para COSTO INVENTARIO - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:EP	1,48963E10	4	3,72407E9	10590,50	0,0000
B:LEAD TIME	1,9383E9	2	9,69152E8	2756,08	0,0000
C:CM	1,22391E7	1	1,22391E7	34,81	0,0000
D:HD	4,81941E7	1	4,81941E7	137,05	0,0000
E:CV	5,2759E9	1	5,2759E9	15003,61	0,0000
INTERACCIONES					



**Pruebas de Normalidad Ajustado para Costo de Inventario (HCR)**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,974926	0,0162469

**Anexo 54 Analisis de Varianza para BCR, SCR, HSR Y NSR**

**Análisis de Varianza para FALTANTES (BCR)**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:EP	2,85166E16	4	7,12915E15	97,38	0,0000
B:LEAD TIME	1,28848E14	2	6,44242E13	0,88	0,4159
C:CM	5,51309E16	1	5,51309E16	753,08	0,0000
D:HD	3,13619E15	1	3,13619E15	42,84	0,0000
E:CV	3,59885E17	1	3,59885E17	4915,97	0,0000
INTERACCIONES					

**Análisis de Varianza para COSTO SETUP (SCR)**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:EP	7,32629E15	4	1,83157E15	60000,61	0,0000
B:LEAD TIME	6,42883E10	2	3,21441E10	1,05	0,3503
C:CM	4,07041E12	1	4,07041E12	133,34	0,0000
D:HD	6,33042E12	1	6,33042E12	207,38	0,0000
E:CV	1,0965E13	1	1,0965E13	359,20	0,0000
INTERACCIONES					

**Análisis de Varianza para COMPLEJIDAD DEL SISTEMA (HSR)**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:EP	800,532	4	200,133	34396,88	0,0000
B:LEAD TIME	0,0292532	2	0,0146266	2,51	0,0828
C:CM	0,00569832	1	0,00569832	0,98	0,3232
D:HD	105,839	1	105,839	18190,47	0,0000
E:CV	5,35504	1	5,35504	920,37	0,0000
INTERACCIONES					

**Análisis de Varianza para NIVEL DE SERVICIO (NSR)**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:EP	1,2434	4	0,310851	146,52	0,0000
B:LEAD TIME	0,00515878	2	0,00257939	1,22	0,2981
C:CM	0,00136722	1	0,00136722	0,64	0,4228
D:HD	0,12434	1	0,12434	58,61	0,0000
E:CV	26,5295	1	26,5295	12504,36	0,0000
INTERACCIONES					

## Anexo 55 Datos y Matrices para el problema-1

### DATOS PARA EL MODELO PARAMETROS MATRICES Y FACTORES DEL PROBLEMA PROBLEMA-1

FACTORES	CODIGO	NIVEL
F-1	EP	1
F-2	LT	B
F-3	CM	B
F-4	CV	B
F-5	HD	B

SKU(i)	Recursos(r)	FU
1	R1	1
2	Pv	1
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Descripción	Abreviado	Datos del problema
Numero de productos	NumI	50
Numero de recursos	NumR	2
Numero de Strokes	NumK	50
Numero de periodos	NumT	52
Horizonte Planificación	H	52
Periodos	h	8
Replanificación	RP	1
Coefficiente Variación	CV	0

### PARAMETROS PARA GENERAR DEMANDA

$a =$  Amplitud

$b =$  periodo

$m =$  pendiente

$\mu_t =$  Media

#### DATOS

Productos	$a$	$b$	$m$	$\mu_t$	
1	0	0	0	50	0
2	0	0	0	50	0
3	0	0	0	50	0
4	0	0	0	50	0
5	0	0	0	50	0
6	0	0	0	50	0
7	0	0	0	50	0
8	0	0	0	50	0
9	0	0	0	50	0
10	0	0	0	50	0
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
48	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0

## PARAMETROS COSTOS DE ALMACENAMIENTO

$h_{it}$  = Costos de Almacenamiento

Productos por estructura	$h_{it}$
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1
11	0,1
12	0,1
13	0,1
14	0,1
15	0,1
16	0,1
17	0,1
18	0,1
19	0,1
20	0,1
21	0,1
22	0,1
23	0,1
24	0,1
25	0,1
26	0,1
27	0,1
28	0,1
29	0,1
30	0,1
31	0,1
32	0,1
33	0,1
34	0,1
35	0,1
36	0,1
37	0,1
38	0,1
39	0,1
40	0,1
41	0,1
42	0,1
43	0,1
44	0,1
45	0,1
46	0,1
47	0,1
48	0,1
49	0,1
50	0,1

### COSTOS DE ALMACENAMIENTO

$CB = \text{Costos de Falta ntes}$

Productos	CB
1	2300
2	2300
3	2300
4	2300
5	2300
6	2300
7	2300
8	2300
9	2300
10	2300
11	2300
12	2300
13	2300
14	2300
15	2300
16	2300
17	2300
18	2300
19	2300
20	2300
21	2300
22	2300
23	2300
24	2300
25	2300
26	2300
27	2300
28	2300
29	2300
30	2300
31	2300
32	2300
33	2300
34	2300
35	2300
36	2300
37	2300
38	2300
39	2300
40	2300
41	2300
42	2300
43	2300
44	2300
45	2300
46	2300
47	2300
48	2300
49	2300
50	2300

### PARAMETROS COSTOS DE SETUP

$f_{kt} = \text{Costos de Setup}$

Stroke	Stroke operación	Stroke
	Recurso empleado	compra
Stroke	1	Pv
1	8000	0
2	8000	0
3	8000	0
4	8000	0
5	8000	0
6	8000	0
7	8000	0
8	8000	0
9	8000	0
10	8000	0
11	0	1800
12	0	1800
13	0	1800
14	0	1800
15	0	1800
16	0	1800
17	0	1800
18	0	1800
19	0	1800
20	0	1800
21	0	1800
22	0	1800
23	0	1800
24	0	1800
25	0	1800
26	0	1800
27	0	1800
28	0	1800
29	0	1800
30	0	1800
31	0	1800
32	0	1800
33	0	1800
34	0	1800
35	0	1800
36	0	1800
37	0	1800
38	0	1800
39	0	1800
40	0	1800
41	0	1800
42	0	1800
43	0	1800
44	0	1800
45	0	1800
46	0	1800
47	0	1800
48	0	1800
49	0	1800
50	0	1800

**PARAMETROS COSTOS DE PRODUCCIÓN**

**PARAMETROS TIEMPO DE CICLO**

$p_{kt}$  = Costos de Producción

$O_{kt}$  = Tiempos de Ciclo

Strokes	Stroke operación	Stroke
	Recurso empleado	Compra
1	R1	Pv
2	2	0
3	2	0
4	2	0
5	2	0
6	2	0
7	2	0
8	2	0
9	2	0
10	2	0
11	0	0,5
12	0	0,5
13	0	0,5
14	0	0,5
15	0	0,5
16	0	0,5
17	0	0,5
18	0	0,5
19	0	0,5
20	0	0,5
21	0	0,5
22	0	0,5
23	0	0,5
24	0	0,5
25	0	0,5
26	0	0,5
27	0	0,5
28	0	0,5
29	0	0,5
30	0	0,5
31	0	0,5
32	0	0,5
33	0	0,5
34	0	0,5
35	0	0,5
36	0	0,5
37	0	0,5
38	0	0,5
39	0	0,5
40	0	0,5
41	0	0,5
42	0	0,5
43	0	0,5
44	0	0,5
45	0	0,5
46	0	0,5
47	0	0,5
48	0	0,5
49	0	0,5
50	0	0,5

Stokes	Stroke operación	Stroke
	Recurso empleado	Compra
1	R1	Pv
1	1	0
2	1	0
3	1	0
4	1	0
5	1	0
6	1	0
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	0	0
34	0	0
35	0	0
36	0	0
37	0	0
38	0	0
39	0	0
40	0	0
41	0	0
42	0	0
43	0	0
44	0	0
45	0	0
46	0	0
47	0	0
48	0	0
49	0	0
50	0	0

**PARAMETRO TIEMPO DE SETUP**

$St_{kr}$  = *Tiempos de Setup*

Strokes	Stroke operación	Stroke
	Recurso empleado	Compra
	R1	Pv
1	5	0
2	5	0
3	5	0
4	5	0
5	5	0
6	5	0
7	5	0
8	5	0
9	5	0
10	5	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	0	0
34	0	0
35	0	0
36	0	0
37	0	0
38	0	0
39	0	0
40	0	0
41	0	0
42	0	0
43	0	0
44	0	0
45	0	0
46	0	0
47	0	0
48	0	0
49	0	0
50	0	0

**PARAMETRO, INVENTARIO INICIAL**

$Io_i$  = *Nivel inicial del inventario de SKUs*

Productos	Inv. Inicial	Precio compra
1	150	0
2	150	0
3	150	0
4	150	0
5	150	0
6	150	0
7	150	0
8	150	0
9	150	0
10	150	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	0	0
34	0	0
35	0	0
36	0	0
37	0	0
38	0	0
39	0	0
40	0	0
41	0	0
42	0	0
43	0	0
44	0	0
45	0	0
46	0	0
47	0	0
48	0	0
49	0	0
50	0	0





## PARAMETRO, LEAD TIME DE UN STROKE

$LT_k = \text{Lead Time de un Stroke}$

Lead Time del ultimo nivel o proveedor final

Stroke	Lead Time
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0
23	0
24	0
25	0
26	0
27	0
28	0
29	0
30	0
31	0
32	0
33	0
34	0
35	0
36	0
37	0
38	0
39	0
40	0
41	0
42	0
43	0
44	0
45	0
46	0
47	0
48	0
49	0
50	0