



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN.**

**ACTUALIZACION DEL MANUAL DE PRÁCTICAS DEL  
LABORATORIO DE PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA  
PRODUCCIÓN.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA:**

**LOPEZ VISOSO JULIO CESAR**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. SANTOS OLMOS GUILLERMO**

**2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



<b>Objetivos.</b>	<b>1</b>
<b>Introducción.</b>	<b>2</b>
<b>Capítulo 1. Planeación de la producción.</b>	<b>3</b>
1. Objetivo.	3
2. Introducción.	3
3. Mobiliario y equipo utilizado.	4
4. Marco teórico de la práctica.	8
4.1.Pronósticos.	8
4.1.1. Pronósticos en el área de la producción.	8
4.1.2. Elementos básicos de los pronósticos.	9
4.1.3. Selección de técnicas apropiadas de pronósticos.	9
4.1.4. Tipos de pronósticos.	12
4.1.4.1. Pronósticos cualitativos.	12
4.1.4.1.1. Características generales de los pronósticos cualitativos.	12
4.1.4.1.2. Métodos o técnicas cualitativas de pronósticos.	13
4.1.4.1.2.1.Técnica Delphi.	13
4.1.4.1.2.2.Investigación de mercados.	13
4.1.4.1.2.3.Consenso de grupo.	13
4.1.4.1.2.4.Analogía histórica.	14
4.1.4.2.Pronósticos cuantitativos.	14
4.1.4.2.1. Características de los pronósticos cuantitativos.	14
4.1.4.2.2. Métodos o técnicas cualitativas de pronósticos.	15
4.1.4.2.2.1.Modelo de promedio móvil simple.	15
4.1.4.2.2.2.Modelo de suavizamiento exponencial simple.	16
4.1.4.2.2.3.Promedios móviles dobles.	17
4.1.4.2.2.4.Suavizamiento exponencial doble (SED).	18
4.1.4.2.2.5.Análisis de regresión simple.	20
4.1.4.2.2.6.Método de los índices.	21
4.1.5. Análisis del comportamiento de los datos.	21
4.1.6. Precisión de la tendencia de pronostico (medición del error).	24
4.2. Diagrama de Gantt.	25
4.3. Curva de aprendizaje y de experiencia.	26
5. Cuestionario introductorio.	26
6. Desarrollo de la práctica.	29
6.1.Pronosticar la demanda.	29
6.2.Definición de las condiciones de trabajo.	42
6.3.Calculo de los tiempos de producción.	45
7. Resultados.	50
8. Cuestionario Final.	51
9. Conclusiones.	51

<b>Capítulo 2. Control de la producción.</b>	<b>53</b>
1. Objetivo.	53
2. Introducción.	53
3. Marco teórico de la práctica.	54
3.1. Control de la producción.	54
3.1.1. Funciones y ventajas del control de la producción.	55
3.2. Control de la materia prima.	56
3.2.1. Inventarios.	56
3.2.1.1. Importancia de los inventarios.	56
3.2.1.2. Objetivo de los inventarios.	57
3.2.1.3. Clasificación de los inventarios.	57
3.2.1.4. Características de los inventarios.	58
3.2.1.5. Costos de inventarios.	60
3.2.1.6. Modelos de inventarios.	60
3.2.1.6.1. Modelos determinísticos.	60
3.2.1.6.1.1. Modelos de inventarios con demanda determinística.	60
3.2.1.6.1.1.1. Modelo EOQ (economic order quantity).	61
3.2.1.6.1.1.2. Algoritmo Silver-Meal.	65
3.2.1.6.1.1.3. Costo unitario mínimo.	65
3.2.1.6.1.1.4. Balanceo de periodo fragmentado.	66
3.2.1.6.2. Modelos probabilísticos.	66
3.2.1.6.2.1. Modelos de inventarios con demanda probabilística.	67
3.2.1.6.2.1.1. Modelo de cantidad fija de reorden.	67
3.2.1.6.2.1.2. Modelo de inventario de cantidad fija de reorden de un solo periodo (un solo pedido).	68
3.3. Controles directos.	69
3.3.1. Ordenes de producción.	70
3.3.2. Reportes de trabajo.	71
4. Cuestionario introductorio.	71
5. Desarrollo de la práctica.	73
5.1. Control de inventarios.	73
5.1.1. Cálculo de lote económico (modelo EPQ).	73
5.1.2. Control de entrada y salida de materias primas del almacén.	81
5.2. Aplicación de los controles directos de la producción.	85
5.2.1. Ordenes de producción.	85
5.2.2. Reportes de trabajo.	87
5.2.3. Análisis de los controles directos de la producción.	88
6. Resultados.	90
7. Cuestionario final.	90
8. Conclusiones.	91

**Capítulo 3. Análisis de la producción.**\_\_\_\_\_ **92**

1. Objetivo.	92
2. Introducción.	92
3. Mobiliario y equipo utilizado en la práctica.	93
4. Marco teórico de la práctica.	93
4.1.Eficiencia de la línea (E).	94
4.2.Producto defectuoso (P).	94
4.3.Control estadístico de la calidad.	95
4.3.1. Muestreo de aceptación.	96
4.3.2. Procedimientos de control del proceso.	96
4.3.2.1.Diagrama de Pareto.	97
4.3.2.2.Diagrama de causa y efecto.	99
4.3.2.3.Histograma.	100
4.3.2.4.Diagrama de dispersión.	104
4.3.2.5.Diagramas de control X, R y P.	105
4.3.2.5.1. Elaboración del diagrama de control X-R.	107
4.3.2.5.2. Elaboración del diagrama de control P.	110
4.3.2.6.Índice de capacidad $C_p$ y $C_{pk}$ .	112
4.3.2.7.Método taguchi.	114
4.4.Costo unitario de producción o de producto (CPD).	118
5. Cuestionario introductorio.	120
6. Desarrollo de la práctica.	122
6.1.Calculo de la eficiencia de la línea.	122
6.2.Calculo del porcentaje de defectos y productos defectuosos.	123
6.3.Control estadístico de calidad.	124
6.3.1. Elaboración del diagrama de control X-R.	124
6.3.2. Elaboración del diagrama de control P.	127
6.3.3. Cálculo del índice de capacidad o habilidad del proceso ( $C_p$ y $C_{pk}$ ).	128
6.3.4. Presentación y análisis de las cartas de control.	132
6.4.Calculo de costo unitario de producción o de producto (CPD).	157
7. Resultados.	162
8. Cuestionario final.	163
9. Conclusiones.	164

**Capítulo 4. Metodología de proyectos de mejora (proyectos Kaizen) y Distribución de planta (Layout).**\_\_\_\_\_ **165**

1. Objetivo.	165
2. Introducción.	165
3. Mobiliario y equipo utilizado en la práctica.	167
4. Marco teórico de la práctica.	169
4.1.Distribución de planta- Layout.	169
4.2.Factores ergonómicos.	170

4.2.1. Objetivo de la ergonomía.	171
4.2.2. Diferentes ramas de la ergonomía.	172
4.2.3. Análisis ergonómica de tareas.	173
4.2.4. Ciclo de desarrollo en la aplicación de las evaluaciones.	174
4.3. Estudio de movimientos.	175
4.3.1. Economía de movimientos.	175
4.3.2. Clasificación de movimientos.	179
4.4. Flujo continuo.	179
4.4.1. Flujo y desperdicio.	180
4.5. Balanceo de línea.	180
4.5.1. Tiempo ciclo (TC).	181
4.5.2. Grafica de balanceo de operadores (operator balance chart, OBC).	181
4.6. Trabajo estandarizado.	182
4.7. 5'S.	184
4.8. Poka yoke (aprueba de errores).	186
4.8.1. Sugerencias para establecer la herramienta poka yoke.	186
4.8.2. Los principios de mejora para el poka yoke.	187
4.9. Kaizen.	187
4.10. Takt time.	188
5. Cuestionario introductorio.	188
6. Desarrollo de la práctica.	192
6.1. Corrección de problemas de la línea de producción.	192
6.2. Definición de los proyectos kaizen.	195
6.2.1. Calculo del tiempo takt.	195
6.2.2. Balanceo de línea.	196
6.2.3. Layout de la planta.	197
6.2.4. Diseño y distribución de las estaciones de trabajo.	200
6.2.4.1. Factores ergonómicos.	200
6.2.4.2. Estandarización del trabajo.	201
6.3. Implementación y análisis de los proyectos kaizen.	205
6.3.1. Control estadístico de la calidad.	205
6.3.2. Análisis del costo unitario de producción o de producto (CPD).	231
6.3.3. Diagrama de Gantt.	233
7. Resultados.	234
8. Cuestionario final.	235
9. Conclusiones.	236
<b>Capítulo 5. Manufactura celular.</b>	<b>237</b>
1. Objetivo.	237
2. Introducción.	237
3. Mobiliario y equipo utilizado en la práctica.	238
4. Marco teórico de la práctica.	238
4.1. Guía para layout celulares.	239

4.2. Guía para el desarrollo del proceso.	241
4.3. Guía para el diseño del layout de la planta.	242
4.4. Guía para el diseño de la estación de trabajo.	242
5. Cuestionario introductorio.	244
6. Desarrollo de la práctica.	245
6.1. Transformación de la línea de ensamble a una celda de manufactura.	245
6.1.1. Diseño y distribución de las estaciones de trabajo.	245
6.1.1.1. Factores ergonómicos.	247
6.1.1.2. Estandarización del trabajo.	247
6.1.2. Análisis de productividad de la calda de manufactura.	250
6.1.2.1. Análisis estadístico de la celda.	250
6.1.2.2. Análisis de costo unitario de producción.	272
6.1.2.3. Análisis del diagrama de Gantt.	274
6.1.3. Resultados.	275
6.2. Corrección de problemas de la celda de manufactura.	276
6.2.1. Definición de los proyectos kaizen.	277
6.2.1.1. Cálculo del tiempo takt.	277
6.2.1.2. Balanceo de línea.	277
6.2.1.3. Layout de la planta.	277
6.2.2. Diseño y distribución de las estaciones de trabajo.	279
6.2.2.1. Factores ergonómicos.	279
6.2.2.2. Estandarización del trabajo.	279
6.2.3. Implementación y análisis de los proyectos kaizen.	282
6.2.3.1. Análisis estadístico de la calidad.	282
6.2.3.2. Análisis del costo unitario de producción.	292
6.2.3.3. Diagrama de Gantt.	294
6.2.4. Resultados.	296
7. Cuestionario final.	297
8. Conclusiones de la práctica.	298
<b>Conclusiones Generales.</b>	<b>299</b>
<b>Análisis de resultados.</b>	<b>300</b>
<b>Bibliografía.</b>	<b>301</b>

## *Objetivo.*

Adaptar las practicas del laboratorio de planeación y control de la producción, al nuevo plan de estudios, mediante la utilización del equipo y mobiliario, dentro del laboratorio, así como la línea de ensamble que se encuentra en el LIME III. Con ello se espera que los estudiantes apliquen los conocimientos adquiridos en forma practica; no solo los conocimientos de la materia, sino también los conocimientos de los cursos anteriores , como son; estudio de movimientos, ergonomía, control estadístico de la calidad, solución de problemas, etc. Así como como el uso de los sistemas de producción mas utilizados hoy en día, como son las celdas de manufactura, que permiten desarrollar el mismo trabajo que una línea de producción, pero reduciendo espacio utilizado y la mano de obra requerida.



## *Introducción.*

Atendiendo al avance tecnología y a la constante evolución de los sistemas de producción, se hace imperativo la constante actualización del manual de practicas del laboratorio de planeación y control de producción, para estar a la vanguardia de las técnicas empleadas en la industria, de ahí la importancia de la actualización e implementación de este manual de practicas, con el propósito de que los estudiantes puedan practicar los conocimientos adquiridos y hagan uso de los equipos de reciente adquisición.

En las prácticas se establecerá una línea de producción de ensamble de robots o helicópteros de juguete; estos son de un fácil ensamblado y una considerable cantidad de piezas, con el fin de que se establezca la más eficiente de ensamblado.

Cada practica contará con un formato que contendrá; una introducción, donde se explique de forma breve los temas que se abordaran durante la practica, el equipo y mobiliario utilizado, un cuestionario introductorio, el cual será contestado por el estudiante antes de empezar la practica, la metodología que explique el orden de las actividades a realizar y para terminar se analizaran los resultados obtenidos y así reportar las conclusiones correspondientes de la practica realizada.

# *Capítulo 1.*

## *“Planeación de la Producción”*

### *Práctica número 1.*

*Duración de la práctica: 2 sesiones.*

#### **1. Objetivo.**

Al finalizar la práctica, el estudiante tendrá la capacidad analizar el comportamiento de los datos históricos o registros de ventas, para pronosticar la demanda en un periodo de tiempo definido; y con la información obtenida realizar la planeación de la producción más eficiente utilizando la grafica de barras o diagrama de Gantt.

#### **2. Introducción.**

La planeación de la producción es una de las actividades fundamentales que se deben realizar, con el fin de obtener mejores resultados en esta área. Básicamente se refiere a determinar el número de unidades que se van a producir en un período de tiempo, con el objetivo de prever, en forma global, cuáles son las necesidades de mano de obra, materia prima, maquinaria y equipo, que se requieren para el cumplimiento del plan de trabajo.

Aunque planear la producción se relaciona con actividades de las distintas áreas funcionales de la empresa, el punto de partida lo constituye el área de mercado, es decir, la estimación de ventas que la empresa proyecta, con estas proyecciones se pueden ser a corto, mediano o largo plazo.

#### *Ventajas de Planear la Producción*

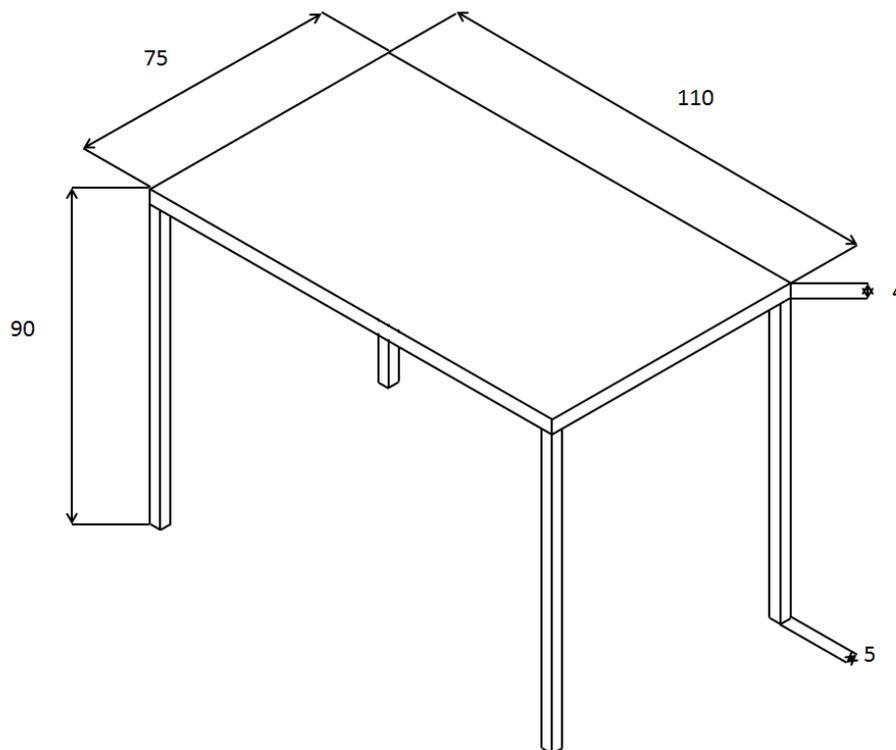
- Planear la producción trae muchas ventajas para la empresa. Algunas de ellas son:
- Se define el número de unidades a producir en un período de tiempo.
- Se pueden calcular, en forma global, las necesidades de mano de obra, materia prima, maquinaria y equipo, con base en lo producido en períodos anteriores.
- Se planea el cumplimiento de los pedidos para las fechas estipuladas.

- Se pueden calcular las compras de materia prima teniendo como base las existencias de la materia prima en el almacén o la necesaria para la producción estimada.
- Se pueden estimar los recursos económicos para financiar la producción.

### 3. *Mobiliario y Equipo utilizado.*

- Cronometro.
- Estación de trabajo. En el desarrollo de las prácticas, las actividades se realizarán en una mesa de trabajo fija, (figura 1.1), la cual se encuentra en la línea de ensamble “azul”, o con la mesa de trabajo móvil (figura 4.1), se tiene que tomar en cuenta, que la mesa de trabajo móvil es ligeramente más grande que la mesa fija.

*Diagrama de mesa de trabajo.*



Acot: cm

**Figura 1.1. Diagrama de la mesa de trabajo en la línea de ensamble “azul”.**

- Robot o helicóptero de juguete.
- Estante de madera: En la figura 1.2 se ilustra el diagrama del estante de madera utilizado durante las prácticas de planeación y control de la producción.

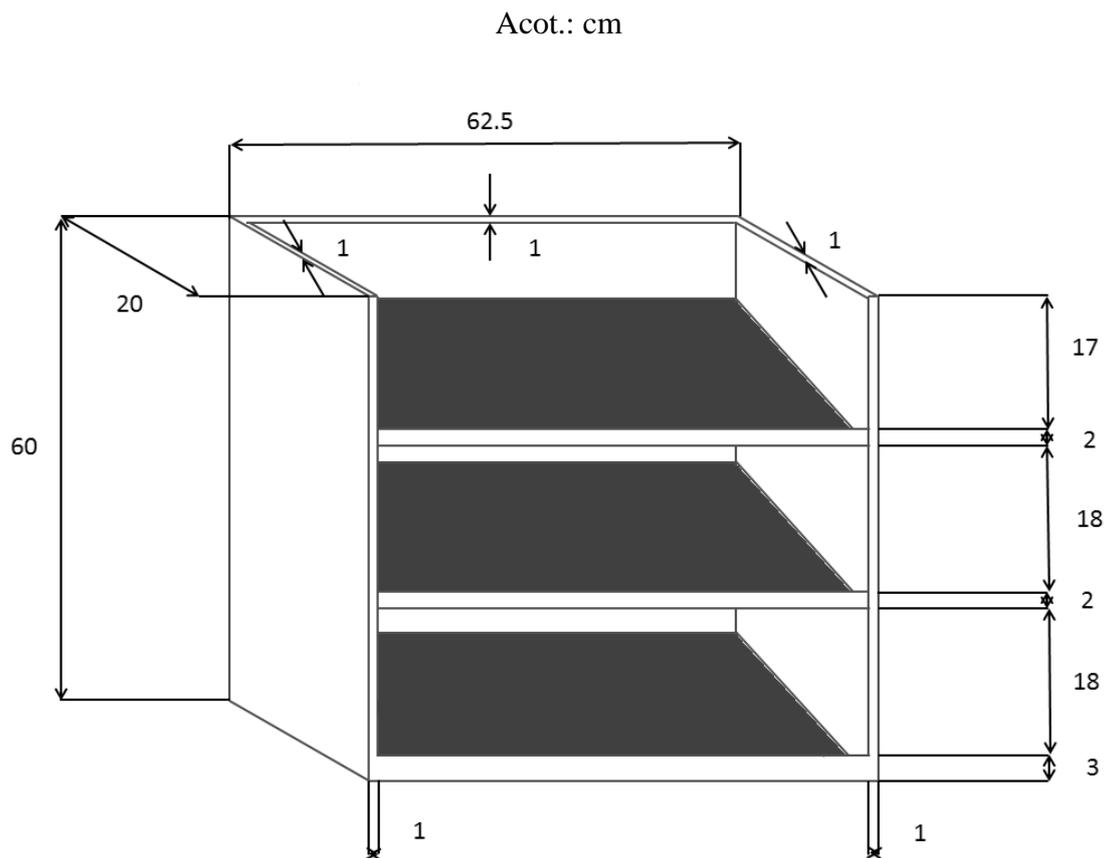


Figura 1.2. Diagrama de estante de madera de tres pisos.

- Recipientes de plástico. En la figura 1.3 se presentan los recipientes utilizados.

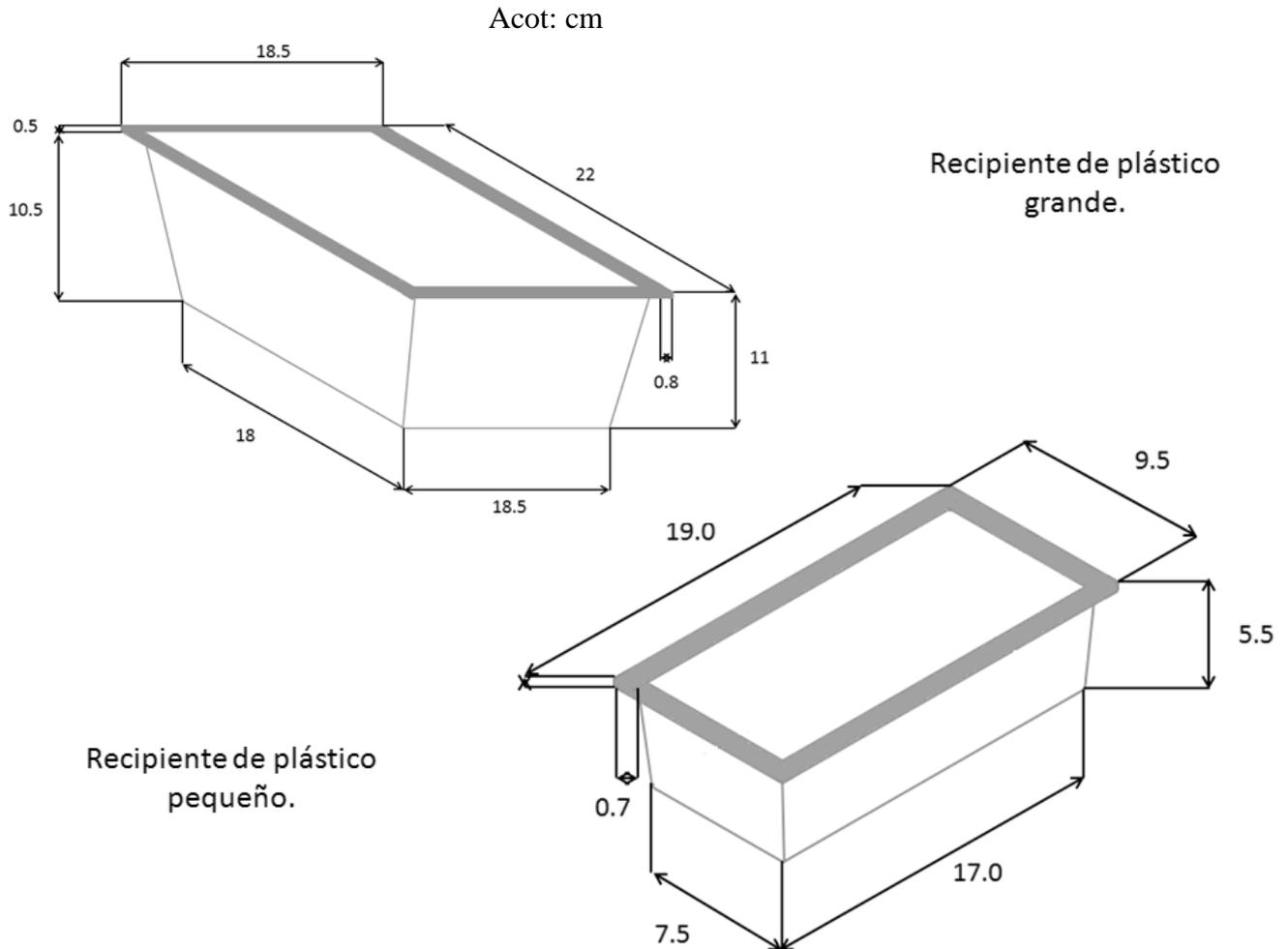


Figura 1.3. Recipientes plásticos para las piezas.

- Línea de ensamble “azul”: En la figura 1.4 muestra el diagrama de la línea de ensamble que se utilizara durante el desarrollo de esta práctica.

Esta línea cuenta con 6 estaciones fijas, las dimensiones de estas se mencionarán anteriormente.

**Diagrama de la línea de ensamble "Azul"**

Acot: m  
Velocidad: 0.17 m/s

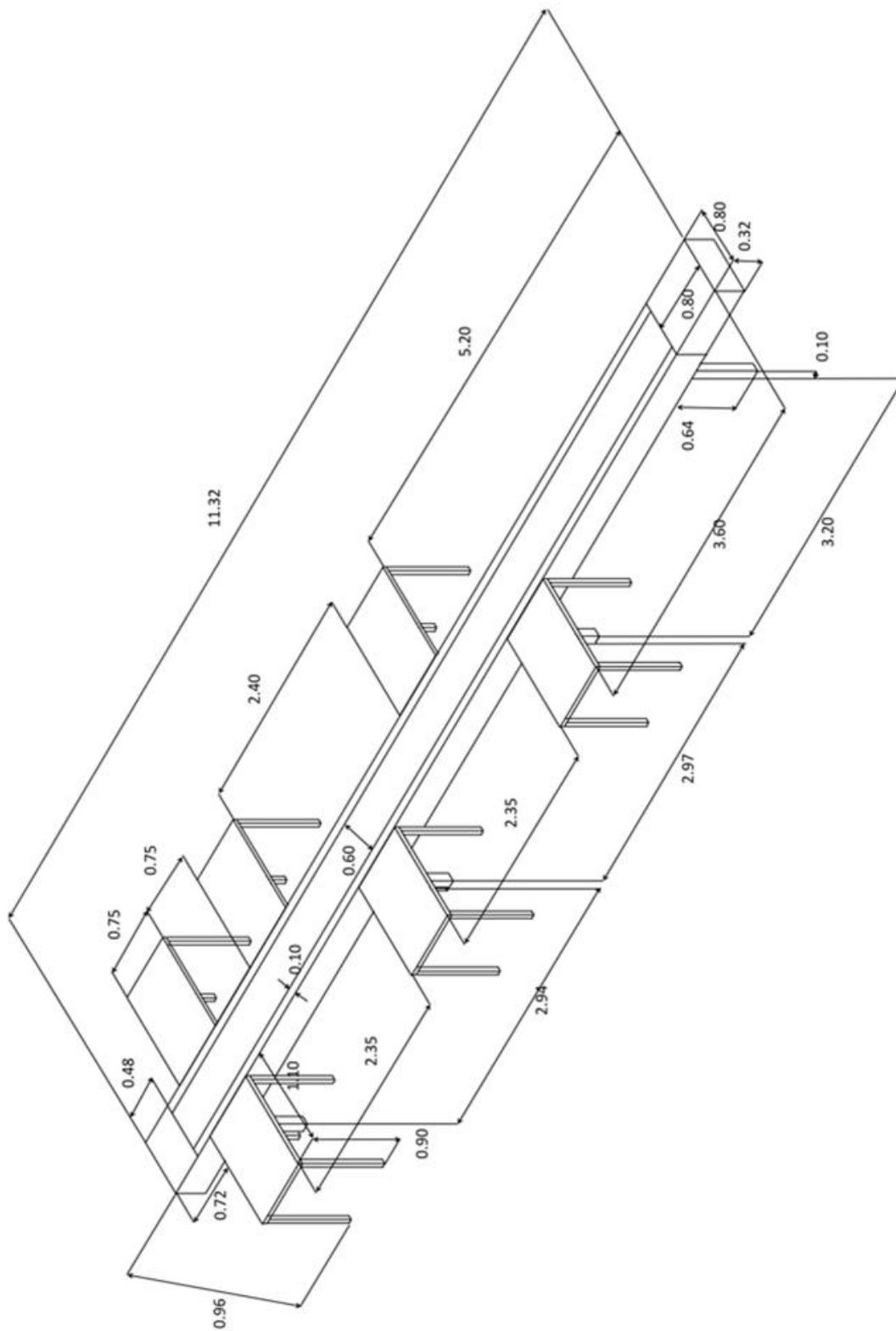


Figura 1.4. Diagrama de la línea de producción "Azul".

## ***4. Marco teórico de la práctica.***

En los siguientes apartados se presenta un resumen de los temas que se deben conocer para la correcta comprensión de la práctica.

### ***4.1. Pronósticos.***

*“El pronóstico es el proceso de predecir el futuro”.*

Toda empresa requiere prever las posibles condiciones futuras en que se desenvolverán sus actividades, con el fin de estimar la cantidad de recursos necesarios para cumplir con los objetivos establecidos y emplear los recursos lo más eficiente posible.

El desarrollo estas estimaciones, radica en considerar que el futuro es, en cierta manera una representación del pasado. Tales predicciones o estimaciones se manejan bajo el nombre de pronósticos, cuyo objetivo es: *“hacer adecuadas proyecciones a futuro que permitan anticipar o prever, con cierto grado de certeza, las condiciones que imperan en el sistema bajo análisis, con base en el juicio de experiencias pasadas”.* Un pronostico es meramente un medio para mejorar la toma de decisiones y no un fin en si mismo, cualquier decisión acerca de métodos de pronósticos se debe relacionar directamente con los problemas de toma de decisiones y con los procesos a los cuales van a ser aplicados.

#### ***4.1.1. Pronósticos en el área de producción.***

En el área de producción se requiere los pronósticos de venta para cada producto producido, para que la empresa pueda planear su programa de producción e inventarios, y así cumplir la demanda a un costo razonable.

### ***4.1.2. Elementos básicos de los pronósticos.***

Los elementos básicos que contienen los pronósticos son los siguientes:

- *Horizonte de tiempo para el que se utiliza el pronóstico.*

Todas las situaciones se refieren al futuro y el tiempo está involucrado directamente, un pronóstico se hace para un punto específico en el tiempo.

- *Incertidumbre sobre el pronóstico.*

La incertidumbre siempre estará presente en el pronóstico. Si existiera seguridad de las circunstancias que existirían en un tiempo dado, la preparación de un pronóstico sería innecesaria.

- *Características de la información empleada en el pronóstico.*

Los pronósticos dependen de la información que está contenida en los datos históricos. La cantidad de información contenida en estos datos es una medida, de que tan relevantes son estos para la toma de decisiones.

### ***4.1.3. Selección de la técnica apropiada de pronóstico.***

Las características básicas que se deben considerar para la selección de una técnica para pronosticar la demanda, son las siguientes:

- *Características de la situación en que se elabora el pronóstico.*

*Horizonte de tiempo:* El periodo sobre el cual tendrá impacto una decisión, para la cual se deberá planear. Puede ser a corto, mediano o largo plazo.

*Nivel de detalle:* La selección de la técnica debe considerar el nivel de detalle necesario para que el pronóstico sea útil.

*Número de artículos:* El nivel de detalle y complejidad de la técnica del pronóstico está íntimamente relacionado con el número y diversidad de artículos que serán involucrados en el análisis.

*Función a desempeñar:* Se refiere a cualquiera de las siguientes funciones realizadas por la persona encargada de la toma de decisiones:

- ✓ *Planeación:* Se asume generalmente que los patrones de comportamiento existentes continuarán en el futuro, y así el énfasis está en identificarlos y explotarlos a futuro.
- ✓ *Control:* Se requieren técnicas que puedan predecir y reconocer cambios en los patrones básicos en una fase temprana, cuando el proceso se sale de control, con el objeto de tomar las medidas pertinentes.

*Estabilidad:* La predicción de situaciones estables es completamente diferente de la predicción de situaciones inestables. En el primer caso se puede usar una técnica sencilla y revisarse periódicamente; en un caso inestable se requiere que la técnica sea capaz de adaptarse continuamente de acuerdo con los más recientes resultados e información.

*Proceso existente de planeación:* La implementación de técnicas de pronósticos conlleva cambios en los procedimientos actuales de planeación de la empresa. Con el fin de aminorar la resistencia al cambio de procedimientos, será conveniente empezar con técnicas que estén más relacionadas con las que se utilicen en ese momento e ir modificándolas poco a poco hasta llegar a un mejor método.

- *Características de las diversas técnicas de pronóstico.*

*Horizonte de tiempo:* Se consideran dos aspectos:

- ✓ El intervalo de tiempo en el futuro para el cual las diferentes técnicas son más adecuadas; generalmente, los pronósticos cualitativos son mejores en el largo plazo, mientras que los cuantitativos funcionan mejor para el mediano y corto plazo.
- ✓ Número de periodos de pronósticos requeridos; debe considerarse que algunas técnicas solo sirven para pronosticar uno o dos periodos adelanté, mientras que otras pueden pronosticar varios periodos.

*Patrón de los datos:* La consideración del tipo de patrón que presentan los datos, es el fundamento básico de la mayoría de las técnicas de pronósticos; debido a que existen diferentes patrones; es importante hacer coincidir el patrón de los datos con el método adecuado.

*Tipo de modelo:* La mayoría de las técnicas asumen algún modelo de comportamiento que intenta representar la situación que será pronosticada. El modelo puede ser una serie en la cual el tiempo es el elemento importante para determinar cambios en el patrón de comportamiento de los datos. La importancia del modelo no radica tanto en que el responsable en la toma de decisiones, entienda las matemáticas involucradas, sino más

bien, en las consideraciones en que cada uno se basa, y las capacidades de los diferentes modelos en distintas situaciones de toma de decisión.

*Costo:* Son tres los principales elementos del costo total que se consideran:

- *Costo de desarrollo:* Costo de recolectar los datos iniciales para identificar el patrón de los datos y la determinación de los componentes de este.
- *Costo de almacenamiento:* Costo por almacenar los datos requeridos. El costo de la información esta íntimamente relacionada con la disciplina, calidad, volumen y nivel de detalle de la misma.
- *Costo de operación:* Involucra el tiempo requerido para la manipulación de la información necesaria.

En términos generales, se debe seleccionar aquella técnica que ocasione el menor costo total, tomando en cuenta los costos anteriores.

*Exactitud:* Esta estrechamente relacionada con el nivel de detalle necesario, la exactitud requerida puede variar, por ejemplo; en algunas situaciones, un error del 20% será adecuado, mientras que en otras se requerirá el 5%.

La exactitud tiene un costo que no debe ser olvidado (este se considera como un costo de operación).

*Facilidad de aplicación:* Es importante que la técnica sea fácil de manejar; no debe olvidarse que solo aquellas técnicas que son entendidas son realmente aplicadas; esto es realmente relevante en pronósticos, ya que la persona encargada de tomar decisiones es responsable de ellas y no se basará en algo que no entiende en su totalidad.

- *Características relacionadas con la información disponible.*

*Disponibilidad:* Independientemente de la técnica de pronóstico seleccionada, todas requieren de cierta cantidad de información histórica, puede ser de carácter cualitativo o cuantitativo.

*Calidad:* No es suficiente contar con información disponible y abundante, según requiera la técnica, también es importante considerar la calidad de la información utilizada y su confiabilidad.

*Nivel de detalle:* La utilización del pronóstico determinará el nivel de detalle requerido por la información.

#### **4.1.4. Tipos de pronósticos.**

Existen dos tipos principales de pronóstico, los pronósticos cuantitativos y los pronósticos cualitativos; las características de cada uno de ellos se desglosan a continuación:

##### **4.1.4.1. Pronósticos cualitativos.**

Los pronósticos cualitativos son subjetivos y normalmente se usan para predecir cambios en un patrón general de comportamiento (largo plazo).

No se encuentran tan bien desarrollados como los cuantitativos, por que aun dependen de la intuición y son mucho más caros.

Los pronósticos cuantitativos son particularmente útiles en aquellas situaciones en que se carece de datos o cuando los datos históricos no son predictores confiables del futuro. En estas circunstancias, deberán tomarse la mayor cantidad de datos posibles, y ajustarlos por medio de juicios subjetivos, con el objeto de poder elaborar el pronóstico. Estos pronósticos son útiles también en el caso de introducir nuevos productos al mercado.

##### **4.1.4.1.1. Características generales de los pronósticos cualitativos.**

1. Se emplean comúnmente para largo plazo.
2. Se requiere, con frecuencia, el empleo de expertos en la preparación de los pronósticos.
3. Los procedimientos empleados normalmente no incluyen formulas de tipo cuantitativo.
4. Emplean pocos o ningún dato histórico numérico.
5. Presentan el “efecto de arrastre”, tiene más peso la opinión de la autoridad o de la persona de mayor jerarquía dentro del grupo, de las personas encargadas de elaborar el pronóstico.
6. Son subjetivos, es decir son afectados por los sentimientos e intereses de las personas que hacen las estimaciones.

#### **4.1.4.1.2. *Métodos o técnicas cualitativas de pronósticos***

##### **4.1.4.1.2.1. *Técnica Delphi.***

El método Delphi, es una técnica prospectiva para obtener información esencialmente cualitativa, pero relativamente precisa, acerca del futuro. Consiste básicamente en solicitar de forma sistemática las opiniones de un grupo de expertos, pero prescindiendo de la discusión abierta, lo que permite evitar los inconvenientes de esta (influencia de factores psicológicos: persuasión, resistencia al abandono de las opiniones públicamente manifestadas, efecto de la opinión mayoritaria, etc.), cuyo objetivo es obtener un consenso basado en la discusión entre los expertos. Es un proceso repetitivo. Su funcionamiento se basa en la elaboración de un cuestionario que ha de ser contestado por los expertos. Una vez recibida la información, se vuelve a realizar otro cuestionario basado en el anterior para ser contestado de nuevo.

Finalmente el responsable del estudio elaborará sus conclusiones a partir de la explotación estadística de los datos obtenidos.

##### **4.1.4.1.2.2. *Investigación de mercados.***

Se aplica para recolectar datos en una variedad de formas (revisiones, entrevistas, etcétera) para probar la hipótesis acerca del mercado. Este se utiliza típicamente para pronosticar principalmente la venta de nuevos productos.

##### **4.1.4.1.2.3. *Consenso de grupo.***

Es el intercambio de información abierta y libre en reuniones. La idea es que la discusión en grupo produzca mejores pronósticos que cualquiera individualmente. Los participantes pueden ser ejecutivos, personal de ventas o clientes.

#### 4.1.4.1.2.4. *Analogía histórica.*

Utiliza los pronósticos elaborados para artículos semejantes. Es importante la planeación de nuevos productos, donde un pronóstico puede elaborarse mediante el uso de datos históricos de un producto similar.

#### 4.1.4.2. *Pronósticos cuantitativos.*

Los pronósticos cuantitativos son objetivos y pueden utilizarse para corto y mediano plazo. Los pronósticos cuantitativos pueden aplicarse solo cuando las siguientes condiciones existan:

1. Hay información acerca del pasado.
2. Esta información puede ser cuantificada en forma de datos.
3. Se puede asumir que el patrón del pasado continuara en el futuro.

Esta última condición se conoce como “la consideración de constancia o continuidad” y es la premisa subyacente de todos los métodos de pronóstico cuantitativos, y varios cualitativos sin importar que tan sofisticados puedan ser.

Las técnicas de pronósticos cuantitativos varían considerablemente, ya que han sido desarrolladas por diversas disciplinas para diferentes propósitos. Cada uno tiene sus propiedades, precisión y costos, los cuales deben considerarse al elegir un método específico.

#### 4.1.4.2. *Características de los pronósticos cuantitativos.*

1. Se utilizan para pronósticos más detallados, a corto y mediano plazo.
2. Emplean procedimientos matemáticos relativamente sencillos.
3. Requieren de información numérica previa o antecedentes históricos.
4. Poseen mayor grado de detalle y son comparativamente más económicos que las técnicas cualitativas.
5. Son más fáciles de entender e interpretar por la gerencia de la empresa que los utilizó.
6. Se pueden procesar con facilidad en computadoras.
7. Son objetivos. Sin embargo no están totalmente carentes de subjetividad, en especial cuando la persona que va a procesar la información emite juicios y análisis propios, eliminando datos que pudieran tener cierta validez o

considerando datos que, por presentarse en una situación irregular perfectamente identificada, no deberían tomarse en cuenta.

### 4.1.4.3. *Métodos o técnicas cualitativas de pronósticos.*

Los modelos cuantitativos de pronósticos, son modelos matemáticos que se basan en datos históricos. Estos modelos suponen que los datos históricos son relevantes en el futuro. Casi siempre puede obtenerse información pertinente al respecto. En la siguiente sección se analizará los modelos cuantitativos más comunes.

#### 4.1.4.3.1.1. *Modelo de promedio móvil simple (PMS).*

La utilización de esta técnica supone que la serie de tiempo es estable, esto es, que los datos que la componen se generan sin variaciones importantes entre un dato y otro, esto es, que el comportamiento de los datos muestren un incremento o un decremento muy pequeño. Para estimar el promedio de una serie de tiempo y para suprimir los efectos de las fluctuaciones al azar. Este método resulta ser útil cuando la demanda no tiene tendencias pronunciadas ni fluctuaciones estacionales.

Implica simplemente calcular la demanda promedio para los “n” periodos más recientes con el fin de utilizarla como pronóstico del periodo siguiente. Una vez conocida la demanda más antigua incluida en el promedio anterior, se sustituye por la demanda más reciente y luego se vuelve a calcular el promedio.

*Características:*

- Principalmente útil a corto plazo.
- Requiere mucha información histórica; al menos “N” valores.
- La variación aleatoria se suaviza más a medida que se consideran más valores en el pronóstico.
- No deben presentarse factores de tendencia o estacionalidad de los datos.
- No se adapta rápido a cambios en el comportamiento.
- Es una técnica que pondera de igual manera cada uno de los datos considerados en el promedio, pero no a los datos antes de ese periodo de tiempo.
- Es útil cuando se tiene gran número y diversidad de artículos.
- Pronostica aceptablemente un periodo ( $t+1$ ); sin embargo si se usa para pronosticar un periodo más adelante, el error aumenta demasiado.

La siguiente ecuación establece el modelo matemático del promedio móvil simple:

$$S_{t+1} = \frac{X_t + X_{t-1} + X_{t-2} + \dots + X_{t-N+1}}{N}$$

Donde:

$S_t$ : Es el pronóstico para el tiempo  $t$ .

$X_t$ : Es el valor de demanda real al tiempo  $t$ .

$N$ : Es el número de valores incluidos en el promedio.

#### 4.1.4.3.1.2. *Modelo de suavizamiento exponencial simple.*

Es un método de promedio móvil ponderado muy refinado que permite calcular el promedio de una serie de tiempo, asignando a las demandas actuales mayor ponderación que a las demandas anteriores. Es el método de pronóstico formal que se usa más a menudo, por su simplicidad y por la reducida cantidad de datos requeridos. A diferencia del método de promedio móvil ponderado, que requiere “n” periodos de demanda pasada y “n” ponderaciones, la suavización exponencial requiere solamente tres tipos de datos: el pronóstico del último periodo, la demanda de ese periodo y un parámetro suavizador, alfa “ $\alpha$ ”, cuyo valor fluctúa entre 0 y 1.0. Para elaborar un pronóstico con suavizamiento exponencial, será suficiente que calculemos un promedio ponderado de la demanda más reciente y el pronóstico calculado para el último periodo.

Esta técnica supera en muchas ocasiones a la de promedios móviles, ya que resuelve dos problemas o restricciones básicas de esta última, estos son:

- Almacenar los últimos “N” valores observados que resultaba costoso.
- Se ponderaban de igual manera a los “N” valores considerados en el promedio, y no se da ningún peso a las observaciones antes de  $t-N$ .

En términos generales se puede considerarse que brinda mejores resultados que el modelo de promedios móviles, ya que da diferente ponderación a la información histórica, además de considerarla en su totalidad.

*Características:*

- No aceptan patrones de comportamiento, con factores de tendencia o estacionalidad, únicamente patrones horizontales.
- Genera un buen pronóstico de un periodo adelante ( $t+1$ ).
- Es útil en decisiones a corto y mediano plazo.
- Dificultad para encontrar el valor adecuado de “ $\alpha$ ” ya que requiere evaluar varios, y elegir el de menor error. Para resolver este problema se han determinado, en la práctica, una serie de rangos para “ $\alpha$ ” dependiendo del comportamiento de los datos; así se propone:

- Entre 0.1 y 0.3 condiciones estables.
- Entre 0.4 y 0.6 condiciones inestables.
- Entre 0.7 y 0.9 condiciones muy inestables.

La expresión matemática correspondiente a este modelo es:

$$S_t = S_{t-1} + \alpha(X_{t-1} - S_{t-1})$$

Donde:

$S_t$ : Es el pronóstico para el tiempo  $t$ .

$X_t$ : Es el valor de demanda real al tiempo  $t$ .

$\alpha$ : Es el peso para ponderar la observación más reciente.

#### 4.1.4.3.1.3. *Promedios móviles dobles (PMD)*

La técnica se fundamenta en el hecho, de que al presentarse una tendencia en la serie de datos, al calcular los promedios móviles simples de estos datos, los resultados siempre estarán por debajo o por encima de los valores reales, dependiendo de si se trata de tendencia positiva o negativa, respectivamente. Adicionalmente, si estas primeras estimaciones ( $S'$ ) se emplean como datos para calcular otra estimación ( $S''$ ), se obtiene que el comportamiento anterior se intensifica aun más.

De lo anterior se plantea las siguientes relaciones:

Primer estimado:

$$S'_t = \frac{X_t + X_{t-1} + X_{t-2} + \dots + X_{t-N+1}}{N}$$

Segundo estimado:

$$S''_t = \frac{S'_t + S'_{t-1} + S'_{t-2} + \dots + S'_{t-N+1}}{N}$$

Donde:

$S'_t$ : Es el primer estimado del pronóstico en  $t$  periodos.

$S''_t$ : Es el segundo estimado del pronóstico en  $t$  periodos.

$X_t$ : Es el valor real en  $t$  periodos.

La ecuación de este modelo es:

$$S_{t+m} = a + bm$$

Donde:

$S_{t+m}$ : Es el pronóstico “m” periodos adelante.

$$a: S'_t + (S'_t - S''_t) = 2S'_t - S''_t$$

$$b = \frac{2}{N-1}(S'_t - S''_t)$$

b: Es una corrección por tendencia de origen empírico. Esto es:

$$S' - S'' \approx X - S'$$

*Características:*

- Se emplea cuando el patrón de comportamiento de los datos presenta una clara tendencia.
- Es una técnica no estadística, basada en conocimientos empíricos.
- Es posible pronosticar “m” periodos adelante, aunque frecuentemente, en la medida en que “m” crece, la precisión decrece.
- Adecuada para realizar un pronóstico a mediano y corto.
- Una seria limitante es que requiere  $2N-1$  datos para elaborar un pronóstico.
- Todos los datos considerados son influidos por el mismo factor de ponderación  $\frac{1}{N}$ .
- El pronóstico obtenido no considera información anterior al periodo  $2N-1$ .

#### 4.1.4.3.1.4. *Suavizamiento exponencial doble (SED)*

En este método se calcula primero una suavización exponencial para cada valor de la serie y luego se vuelve a calcular otra suavización exponencial sobre los datos resultantes de la primera.

De lo anterior se plantea las siguientes relaciones:

Primer estimado:

$$S'_t = S'_{t-1} + \alpha(X_{t-1} - S'_{t-1})$$

Segundo estimado:

$$S''_t = S''_{t-1} + \alpha(S'_{t-1} - S''_{t-1})$$

La ecuación de este modelo es:

$$S_{t+m} = a + bm$$

Donde:

$S_{t+m}$ : Es el pronóstico “m” periodos adelante.

$$a: S'_t + (S'_t - S''_t) = 2S'_t - S''_t$$

$$b = \frac{\alpha}{1 - \alpha}(S'_t - S''_t)$$

b: Es una corrección por tendencia de origen empírico. Esto es:

$$S' - S'' \approx X - S'$$

Para el primer cálculo se supone:

$$S'_{t-1} = X_t$$

$$S''_{t-1} = S'_t = X_t$$

*Características:*

- Se emplea cuando el patrón de comportamiento de los datos presenta una clara tendencia. Sin embargo, brinda también excelentes resultados al aplicarlo a patrones horizontales con estabilidad en el comportamiento, ya que este modelo se ajusta rápidamente.
- Es una técnica no estadística.
- Es posible pronosticar más de un periodo en avance.
- Adecuada para horizontes de tiempo mediano y corto.
- Pondera de manera exponencial a la información utilizada.

#### 4.1.4.3.1.5. *Análisis de regresión simple.*

En este modelo se asume que no solo existe un patrón básico, sino que también, este patrón es lineal, esto significa que los datos crecerían o decrecerían a lo largo de una línea recta.

La línea recta que podría describir el patrón de los datos entre las dos variables, sería similar a una línea que pasa por en medio de todos los valores observados, esta línea, tiene una ordenada y una pendiente que servirán para realizar el pronóstico de “n” periodos adelante.

Las expresiones matemáticas que definen esta pendiente y su constante se presenta a continuación:

*Ecuación para el cálculo de la pendiente*

$$b = \frac{n(\sum_{i=1}^n T_i X_i) - (\sum_{i=1}^n T_i)(\sum_{i=1}^n X_i)}{n(\sum_{i=1}^n T_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

*Ecuación para el cálculo de la constante*

$$a = X' - bT$$

Donde:

$X_i$ : Es la variable independiente del periodo  $t$

$T_i$ : Es la variable dependiente en el periodo  $t$ .

$n$ : Es el número de observaciones.

$i$ : Es el periodo  $i$ -ésimo analizado.

$a$ : Es la constante fundamental del proceso.

$b$ : Es la pendiente de la tendencia.

$X'$ : Es el promedio de los valores a analizar.

La ecuación para el cálculo del pronóstico es:

$$S_T = a + bT$$

Donde:

$S_t$ : Es el pronóstico para el periodo  $t + n$ .

$a$ : Es la constante fundamental del proceso.

b: Es la pendiente de la tendencia.

T: Es el periodo donde se realizara el pronóstico.

#### **4.1.4.3.1.6. Método de los índices.**

Muchos patrones de demanda presentan alguna clase de comportamiento estacional, para poder analizar y establecer un pronóstico acertado para este tipo de patrón de demanda, se tiene que eliminar esta estacionalidad o polaridad, a esto se le denomina *desestacionalización* de los datos.

Los efectos estacionales con frecuencia constituyen un porcentaje específico de una tendencia a largo plazo. Los *índices estacionales* proporcionan una manera de tomar en consideración la estacionalidad con este tipo de datos. Estos indican el porcentaje fraccionario por el que cada periodo queda arriba o debajo del valor promedio. Estos índices se pueden usar para las predicciones futuras de cualquier periodo, mientras que los valores estacionales se mantengan estables dentro de un rango determinado.

Para poder utilizar esta técnica se necesita como mínimo 2 temporadas de estudio.

Los pasos para realizar este método son los siguientes:

- Se deben encontrar los índices para todos los datos, esto se logra dividiendo cada valor entre el promedio de la temporada analizada.
- Para nivelar las variaciones, el índice final para el periodo, será el promedio de todos los índices de este periodo en las temporadas analizadas.
- Para pronosticar el periodo deseado, basta con multiplicar el índice de ese periodo por el promedio general de los datos.

#### **4.1.5. Análisis del comportamiento de los datos.**

Dada la premisa básica de los pronósticos (considerar que “el futuro es en cierta medida la repetición del pasado”), es de suma importancia analizar detenidamente el patrón de comportamiento de la información disponible para la elaboración de pronósticos cuantitativos, dado que cada técnica es específicamente útil para cierto tipo de patrón de datos.

Los patrones básicos de comportamiento son:

- *Patrón horizontal o estacionario*: Se presenta cuando los valores de los datos fluctúan alrededor de una medida constante. No existe tendencia positiva (que aumente los valores progresivamente) o negativa (los valores disminuyan progresivamente), un ejemplo es mostrado en la figura 1.5.

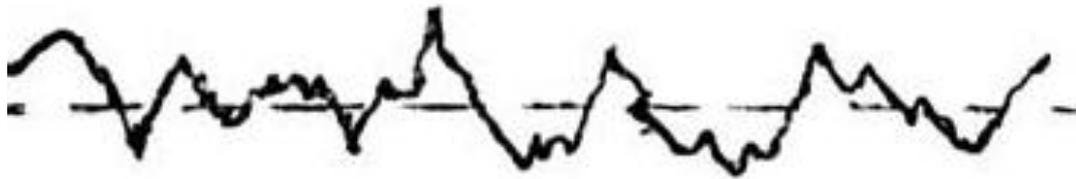


Figura 1.5. Patrón horizontal o estacionario.

- *Patrón estacional*: Se presenta cuando los datos fluctúan de acuerdo con algún factor estacional. La estación puede ser de un mes o las estaciones del año. Este tipo de patrón se muestra en la figura 1.6.

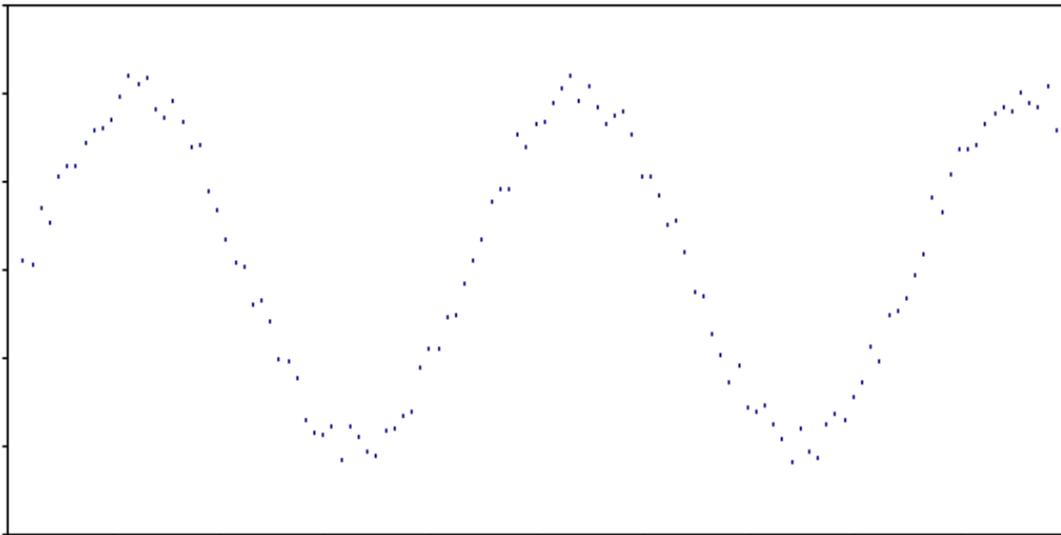


Figura 1.6. Patrón estacional.

- *Patrón cíclico*: Ocurre cuando los datos están influidos por fluctuaciones a largo plazo. Este patrón es parecido al estacional, pero la longitud de un ciclo es generalmente mayor de un año y, dado que no se repite a intervalos constantes, la predicción de este patrón es más difícil. Este tipo de patrón se muestra en la figura 1.7.

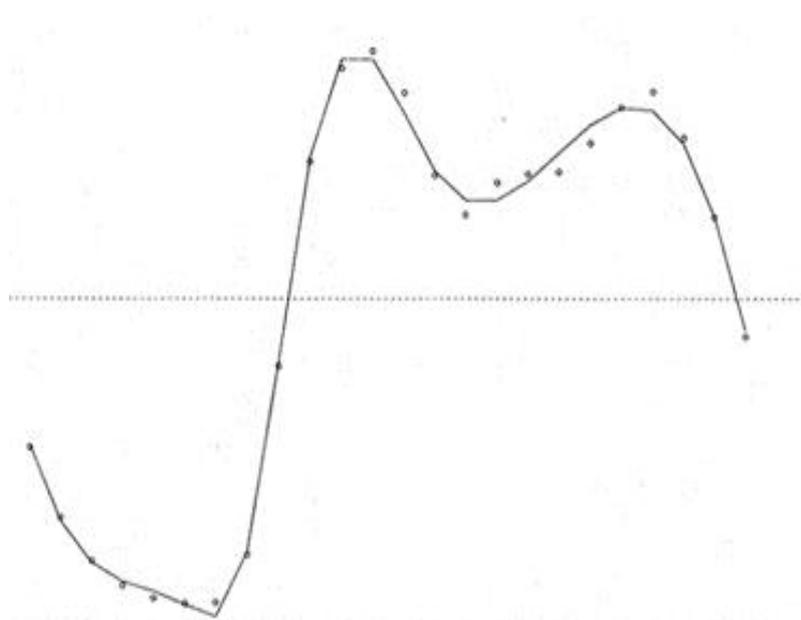


Figura 1.7. Patrón cíclico.

- *Patrón de tendencia*: Ocurre cuando se presenta un incremento o decremento general en el valor de la variable considerada a lo largo de un periodo analizado, en la figura 1.8 se presentan las dos formas posibles de un patrón de tendencia.

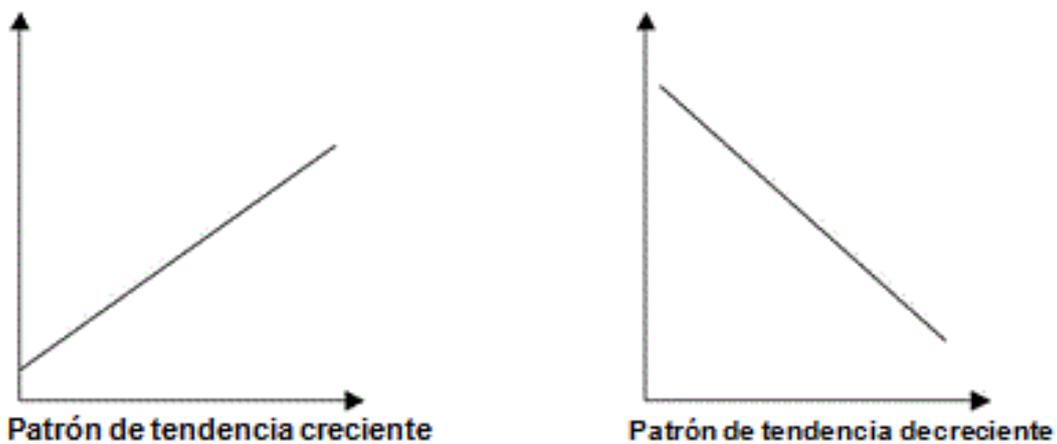


Figura 1.8. Patrón de tendencia.

#### 4.1.6. *Precisión de la tendencia de pronóstico (medición del error).*

La consideración básica en el uso de cualquier técnica es que el valor observado estará determinado por algún o algunos patrones de comportamiento. Debido a que siempre existe incertidumbre, esto implica que aun si el patrón exacto de los datos se pudiera identificar, existirá cierta desviación entre los valores pronosticados y los observados; un objetivo en la aplicación de los pronósticos es disminuir esta desviación. De aquí que el error del pronóstico ( $e_i$ ) se define mediante la siguiente ecuación:

*Error medio cuadrado (Mean Squared Error)*

$$MSE = \frac{\sum(e_i)}{n} = \frac{\sum(X_i - S_i)^2}{n}$$

Donde:

$e_i$ : Es el error del pronóstico.

$X_i$ : Es el valor real en el periodo  $i$ .

$S_i$ : Es el pronóstico para el periodo  $i$ .

$i$ : Es el periodo  $i$ -ésimo analizado.

En términos de porcentaje se podrían establecer que:

$$\%MSE = \frac{1}{n} \sum \left[ \frac{X_i - S_i}{X} \right]^2$$

Y el error estándar:

$$STD = \sqrt{MSE}$$

Es necesario hacer notar que al evaluar técnicas de pronósticos en términos de su exactitud, es necesario ir más allá de los simples cálculos antes citados, dado que existen dos formas de exactitud que es necesario considerar:

1. *La exactitud de la técnica al predecir el patrón de los datos.* Para esto es válido emplear el MSE; la técnica que tenga el menor valor, es la adecuada en términos generales.
2. *La exactitud de la técnica cuando el patrón cambia.* Es decir que tan rápido el pronóstico puede responder a los cambios y que también puede pronosticar el futuro. Esto implica que la técnica debe identificar el cambio y después alternar el pronóstico de acuerdo a ese cambio.

## 4.2. *Diagrama de Gantt*

El diagrama de Gantt es una herramienta que le permite al usuario modelar la planificación de las tareas necesarias para la realización de un proyecto, esta herramienta facilita que el encargado del proyecto o de su planeación pueda realizar una representación gráfica del progreso de este, pero también es un buen medio de comunicación entre las diversas personas involucradas en el proyecto.

*Cómo crear un diagrama de Gantt.*

En un diagrama de Gantt, cada tarea es representada por una línea, mientras que las columnas representan los días, semanas, o meses del programa, dependiendo de la duración del proyecto. El tiempo estimado para cada tarea se muestra a través de una barra horizontal cuyo extremo izquierdo determina la fecha de inicio prevista y el extremo derecho determina la fecha de finalización estimada. Las tareas se pueden colocar en cadenas secuenciales o se pueden realizar simultáneamente.

Si las tareas son secuenciales, las prioridades se pueden confeccionar utilizando una flecha que desciende de las tareas más importantes hacia las tareas menos importantes. La tarea menos importante no puede llevarse a cabo hasta que no se haya completado la más importante.

A medida que progresa una tarea, se completa proporcionalmente la barra que la representa hasta llegar al grado de finalización. Así, es posible obtener una visión general del progreso del proyecto rastreando una línea vertical a través de las tareas en el nivel de la fecha actual. Las tareas ya finalizadas se colocan a la izquierda de esta línea; las tareas que aún no se han iniciado se colocan a la derecha, mientras que las tareas que se están llevando a cabo atraviesan la línea. Si la línea está cubierta en la parte izquierda, la tarea está demorada respecto de la planificación del proyecto.

### 4.3. *Curva de aprendizaje o de experiencia.*

A medida que los trabajadores adquieren más experiencia en determinados procesos, o que el proceso mejora a través del tiempo, disminuye la cantidad de horas necesarias para producir una unidad adicional, además del mejoramiento de la habilidad de cada trabajador, también ayuda a mejorar:

- Los métodos de producción.
- La confiabilidad y la eficiencia de las herramientas y máquinas usadas.
- El diseño del producto.
- La programación de producción y control de inventarios.
- La organización del lugar de trabajo.

La experiencia ha demostrado que esas curvas se representan de manera adecuada mediante una relación exponencial. Sea  $Y(u)$  la cantidad de horas de trabajo necesarias para producir la  $u$ -ésima unidad. En ese caso, la curva de aprendizaje tiene la forma:

$$Y(u) = au^{-b}$$

En la que “ $a$ ” es la cantidad de horas necesarias para producir la primera unidad y “ $b$ ” mide la rapidez con la que disminuyen las horas de producción marginal a medida que aumenta la cantidad acumulada de unidades producidas. Las curvas de aprendizaje se describen tradicionalmente por la disminución porcentual de las horas necesarias para producir el  $2n$ -ésimo artículo divididas entre las horas de trabajo necesarias para producir el  $n$ -ésimo artículo, y se supone que, este porcentaje es independiente de “ $n$ ”.

## 5. *Cuestionario introductorio.*

### *¿Qué es y para que sirve un diagrama de Gantt?*

El diagrama de Gantt es una herramienta muy utilizada en la actualidad, su objetivo es el de mostrar el tiempo programado, las fechas de iniciación y terminación para las diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado.

Eje Horizontal: un calendario, o escala de tiempo definido en términos de la unidad más adecuada al proyecto a ejecutar: hora, día, semana, mes, etc.

Eje Vertical: Las tareas que constituyen el proyecto a ejecutar. A cada tarea se representa por una línea horizontal cuya longitud es proporcional a la duración en la escala de tiempo (eje horizontal).

Los diagramas de Gantt se usan para representar por medio de barras las actividades con longitud de duración (Calendarización de actividades).

### ***¿Qué es una línea de ensamble o de producción y cuales son sus características?***

Una línea de producción es el conjunto armonizado de diversos subsistemas como son: neumáticos, hidráulicos, mecánicos, electrónicos, software, etc. Todos estos con una finalidad en común: transformar o integrar materia prima en otros productos.

#### *Características de una línea de producción*

Estas deben tener:

- Mínimo tiempo ocioso en las estaciones.
- Alta cantidad (tiempo suficiente para que los operadores terminen el trabajo).
- Costo de capital mínimo.
- Transporte entre estaciones sin medio de transportación.
- Velocidades de transportación diferentes entre estaciones.
- Almacenes entre las operaciones o transportaciones.

#### *Conformación de una línea de producción*

- Recepción materias primas.
- Mano de obra requerida.
- Transformación de la materia prima.
- Etapa de inspección y prueba.
- Almacenamiento.
- Transporte.

### ***¿Cuales son las ventajas y desventajas en una producción en línea?***

#### *Ventajas de la producción en serie:*

- Perfeccionamiento del producto: Ya que a diferencia de la producción por encargo, en la producción en serie, el patrón o molde para la fabricación está dado por las máquinas lo que implica pocas o ninguna imperfección óptica y/o de funcionamiento.
- El producto es más fácil de fabricar ya que el procedimiento de fabricación es el mismo. (Como anteriormente dicho, el patrón o molde, ya se encuentra configurado en las máquinas).
- El producto es más barato, ya que el uso y la ocupación de las máquinas necesarias para la fabricación pueden ser optimizado. Además la compra en grandes cantidades de los materiales para la fabricación es significativamente mucho más barata.
- El producto está disponible en el mercado en grandes cantidades, lo que significa mayor cobertura y mayor alcance.

- Alta productividad.
- Los tiempos de producción son más cortos.
- Tendencia a una reducción en los costos de transporte y de almacenamiento (en este último caso, se considera que los productos fabricados o por fabricar ya han sido vendidos y que los materiales tienen una rotación corta dentro del almacén ya que entran a producción en un período de tiempo corto, o la producción es "just in time" lo que significa poco capital estancado).
- Posibilidad de contratar personal entrenado en lugar de personal altamente cualificado, lo que reduce los costos de personal.

*Desventajas de la producción en serie:*

- Se pierde la individualidad y originalidad del producto, es decir no existen "piezas únicas".
- Fabricantes a pequeña escala y fabricantes artesanales solo pueden sacar beneficios a través de la fabricación de productos que no existan a gran escala en el mercado o que no tengan mucha o ninguna competencia.
- Cambios en el mercado significan para el fabricante, una serie de altos costos para la modificación, como por ejemplo costos de re-equipamiento y cambio de máquinas.
- En ciertas situaciones pueden también llegar a significar altos costos de almacenamiento, como cuando, varios productos que han sido fabricados continuamente en la misma máquina, no pueden ser vendidos inmediatamente.
- Alta necesidad de mucho capital para instalar una fábrica.

***¿Qué es la curva de aprendizaje y por que es necesario tomarla en cuenta?***

Las curvas de aprendizaje, también llamadas economías de escala dinámicas, hacen referencia al aumento de la productividad que se produce a través de la experiencia acumulada. Cuando una empresa lleva más de un periodo produciendo un bien, aprende a producirlo mejor, lo que se traduce en una disminución del costo unitario a medida que aumenta la producción acumulada.

***¿Qué es y para que sirve un pronóstico de demanda?***

Pronosticar es el arte y ciencia de predecir acontecimientos futuros.

Las decisiones empresariales siempre se toman con información insuficiente y con un margen de incertidumbre mayor o menor, dependiendo del tiempo y los recursos que se destinan a la búsqueda y el análisis de la información. Debemos entonces establecer algunas suposiciones y actuar en consecuencia.

Sabemos que nunca ocurrirá exactamente lo pronosticado, aun así necesitamos una cierta base (aunque sea mínima), un criterio, una justificación para el curso de acción que decidimos tomar. Porque a partir del pronóstico que generemos, estaremos decidiendo dónde invertir los recursos financieros, tecnológicos y humanos.

## 6. Desarrollo de la práctica.

### 6.1. Pronosticar la demanda.

Se debe realizar un pronóstico de las ventas del juguete a producir, para el periodo de tiempo a estudiar, para ello se utiliza los registros de ventas mensuales que el encargado entrego previamente.

Con la información que se proporcione, se realiza una grafica, con el propósito de analizar el comportamiento de la demanda, posteriormente elaborar el pronosticó del siguiente período de tiempo, mediante el método correcto, según la demanda lo requiera.

Los tres registros de demanda propuestos son:

- a) Demanda creciente.
- b) Demanda horizontal o estándar.
- c) Demanda cíclica o estacional.

A Continuación se realizan el análisis para cada uno de los diferentes conjuntos de datos:

#### a) Registros para una demanda con comportamiento creciente:

El patrón tendencial se caracteriza por tener valores observados con un comportamiento que aumenta o disminuye en forma estable. En símbolos, se tiene:

$$X_T = a + bT + e_t \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

$X_T$ : Es el valor observado.

$a$ : Es la constante fundamental del proceso.

$b$ : Es la pendiente de la tendencia.

$e_t$ : Es el error intrínseco del valor observado.

Los datos históricos de la demanda de la tabla 1.1, representados gráficamente en la figura 1.9. Muestran un comportamiento de tendencia creciente uniforme.

Tabla 1.1. Datos históricos con tendencia creciente.

Mes	Numero de artículos vendidos
Enero	21789
Febrero	20383
Marzo	23242
Abril	22353
Mayo	24285
Junio	23542
Julio	23782
Agosto	25823
Septiembre	26472
Octubre	25972
Noviembre	27424
Diciembre	28932

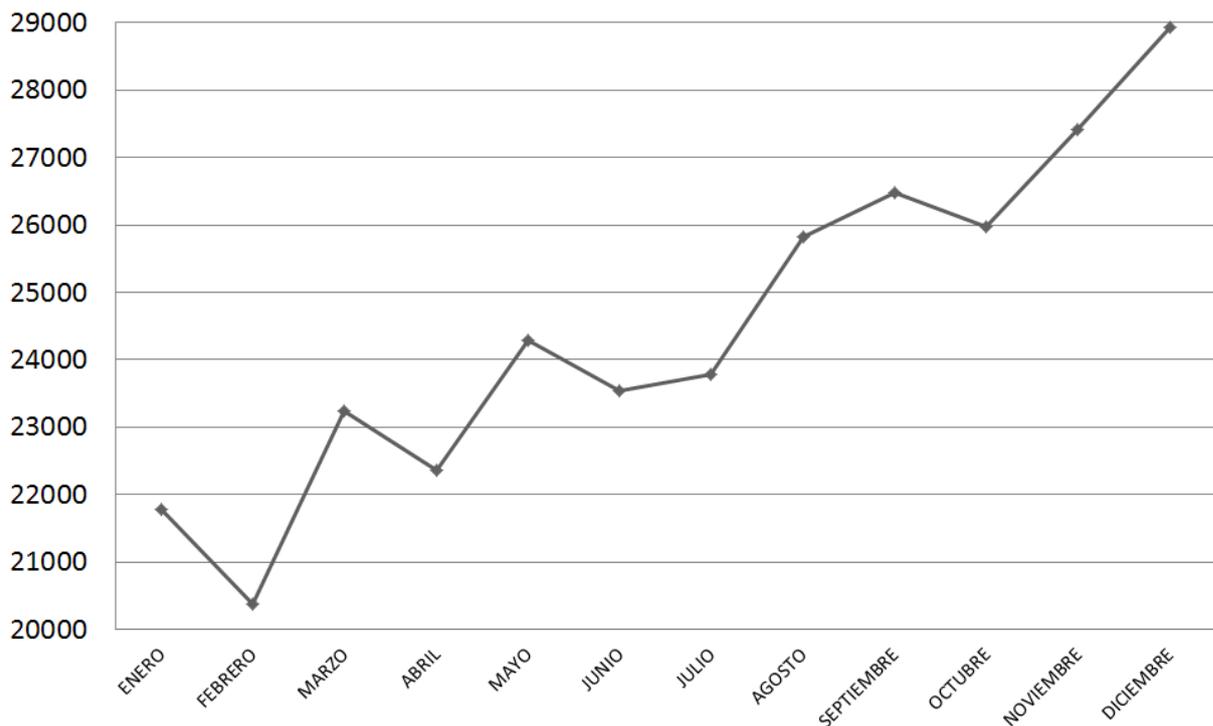


Figura 1.9: Distribución de la demanda, tipo creciente.

Se puede apreciar claramente el crecimiento constante de la demanda al paso del tiempo. Para el análisis de este tipo de comportamiento se hará uso de del método de *regresión lineal*, las ecuaciones necesarias para utilizar este médelo son las siguientes:

*Ecuación para el cálculo de la pendiente*

$$b = \frac{n(\sum_{i=1}^n T_i X_i) - (\sum_{i=1}^n T_i)(\sum_{i=1}^n X_i)}{n(\sum_{i=1}^n T_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad \text{Ec. 1.2}$$

*Ecuación para el cálculo de la constante*

$$a = X' - bT \quad \text{Ec. 1.3}$$

*Ecuación para el cálculo del promedio o media aritmética*

$$X' = \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)}{n} \quad \text{Ec. 1.4}$$

*Ecuación para el cálculo del promedio del número de muestras*

$$T' = \frac{(\sum_{i=1}^n T_i)}{n} \quad \text{Ec. 1.5}$$

La tabla 1.2, muestra los cálculos requeridos por el método de regresión lineal para la demanda que se presentó en la tabla 1.1.

**Tabla 1.2. Cálculo de índices mensuales para regresión lineal.**

(T)	(X)	(X)(T)	(T) <sup>2</sup>	(T-T')	(X-X')	(T-T')(X-X')	(X-X') <sup>2</sup>	(T-T') <sup>2</sup>
1	21789	21789	1	-5.5	-2710.9167	14910.0419	7349069.3540	30.25
2	20383	40766	4	-4.5	-4116.9167	18526.1252	16949003.1100	20.25
3	23242	69726	9	-3.5	-1257.9167	4402.7085	1582354.1100	12.25
4	22353	89412	16	-2.5	-2146.9167	5367.2918	4609251.3170	6.25
5	24285	121425	25	-1.5	-214.9167	322.3751	46189.1879	2.25
6	23542	141252	36	-0.5	-957.9167	478.9584	917604.4041	0.25
7	23782	166474	49	0.5	-717.9167	-358.9584	515404.3881	0.25
8	25823	206584	64	1.5	1328.0833	1992.1250	1763805.2520	2.25
9	26472	238248	81	2.5	1972.0833	4930.2083	3889112.5420	6.25
10	25972	259720	100	3.5	1472.0833	5152.2916	2167029.2420	12.25
11	27424	301664	121	4.5	2924.0833	13158.3749	8550263.1450	20.25
12	28932	347184	144	5.5	4432.0833	24376.4582	19643362.3800	30.25
<b>Totales</b>	293999	2004244	650			93258.0000	67982448.7500	143.00

Utilizando la ecuación 1.4, se obtiene el promedio de las demandas;

$$X' = \frac{293999}{12} = 24499.9167$$

Utilizando la ecuación 1.5, se obtiene el promedio de las observaciones;

$$T' = \frac{78}{12} = 6.5$$

Se calcula el valor probable del mes de enero mediante las ecuaciones 1.1, 1.2 y 1.3

$$b = \frac{12(2004244) - (78)(293999)}{12(650) - (78)^2} = 652.1014$$

$$a = 24499.9167 - [(652.1014)(6.5)] = 20261.2576$$

Con los valores de a, b y T, se calcula la posible demanda del mes de enero:

$$X_{ENERO} = 20261.2576 + 652.1014(13) = 28738.5758$$

**b) Registros para una demanda con comportamiento horizontal o estándar:**

Existe un patrón horizontal cuando no hay tendencia alguna en los datos. Cuando existe tal patrón, generalmente se hace referencia a la serie como estacionaria, es decir, no tiende a aumentar o disminuir a través del tiempo de ninguna manera sistemática.

Los datos históricos de la demanda de la tabla 1.3, representados gráficamente en la figura 1.10. Muestran un comportamiento estable, con valores promedios que fluctúan moderadamente.

Tabla 1.3. Datos históricos con comportamiento horizontal o estándar.

Mes	Numero de artículos vendidos
Enero	23289
Febrero	21383
Marzo	22562
Abril	23812
Mayo	21721
Junio	21084
Julio	22412
Agosto	21403
Septiembre	22162
Octubre	20649
Noviembre	21719
Diciembre	23712

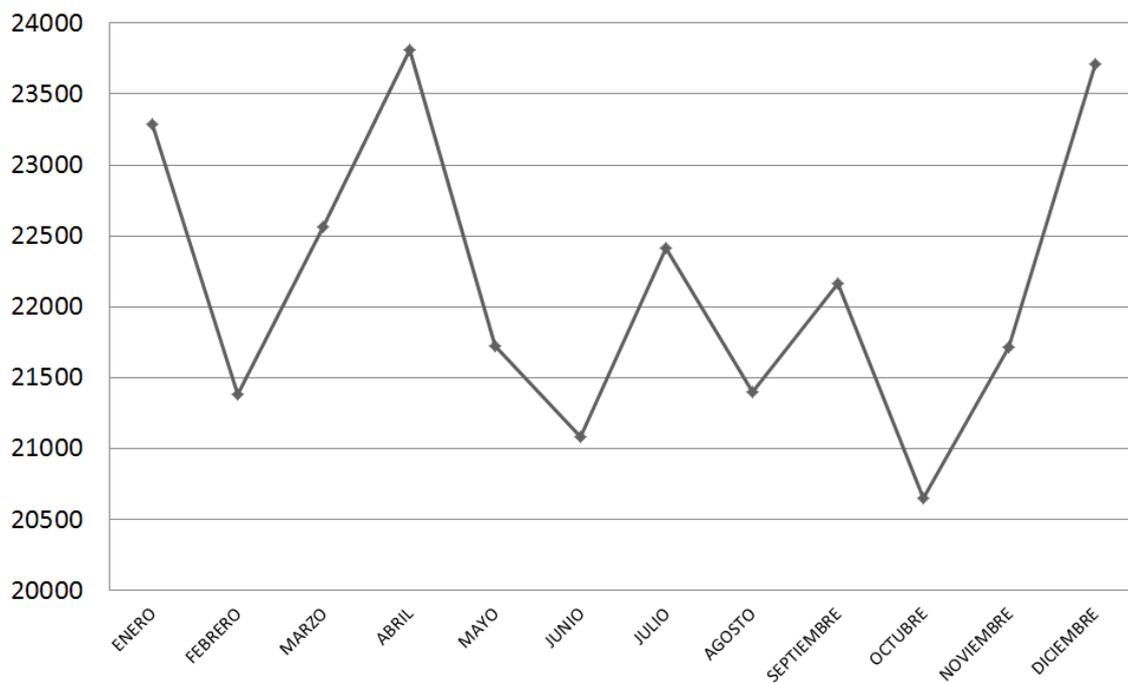


Figura 1.10: Distribución de la demanda, tipo horizontal o estándar.

En este caso la demanda no tiende a variar demasiado, con lo que puede definirse como un comportamiento constante. Para el análisis de este tipo de comportamiento se hará uso de del método de *Suavizamiento exponencial*, las ecuaciones necesarias para este médelo son las siguientes:

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(Y_{t-1} - F_{t-1}) \quad \text{Ec: 1.6}$$

*Medida del error del pronóstico o Error medio cuadrado (Mean Squared Error)*

$$MSE = \frac{\sum(e_i)}{n} = \frac{\sum(X_i - S_i)^2}{n} \quad \text{Ec: 1.7}$$

*Error estándar*

$$STD = \sqrt{MSE} \quad \text{Ec: 1.8}$$

La tabla 1.4, muestra los cálculos requeridos por el método de suavizamiento exponencial, con una ponderación de  $\alpha=0.1$ , para determinar la demanda que se presente en la tabla 1.3.

**Con  $\alpha=0.1$**

Se calcula cada periodo mediante la ecuación 1.6, para el periodo de febrero nos dará el mismo resultado que el de enero, por ello se empieza a calcular desde el periodo de marzo:

$$F_{MARZO} = 23289 + 0.1(21383 - 23289) = 23098.04$$

Tabla 1.4. Calculo de índices mensuales para suavizamiento exponencial con una ponderación de 0.1

Mes	Ventas	Pronostico (ponderado)	Error $(X_i - S_i)$	Error absoluto $(X_i - S_i)^2$
Enero	23289	23289.0000	0.0000	0.0000
Febrero	21383	23289.0000	-1906.0000	3632836.0000
Marzo	22562	23098.4000	-536.0000	287296.0000
Abril	23812	23044.7600	767.24	588657.2176
Mayo	21721	23121.4840	-1400.4840	1961355.4340
Junio	21084	22981.4356	-1897.4356	3600261.8560
Julio	22412	22791.6920	-379.692	144166.0149
Agosto	21403	22753.7228	-1350.7228	1824452.0820
Septiembre	22162	22618.6505	-456.6505	208529.6792
Octubre	20649	22572.9855	-1923.9855	3701720.2040
Noviembre	21719	22380.5870	-661.5870	437697.3586
Diciembre	23712	22314.4283	1397.5717	1953206.6570
Enero	-----	22454.1855	-----	18340178.5000

En la figura 1.11, se realiza una comparación grafica entre los valores reales y los pronósticos obtenidos.

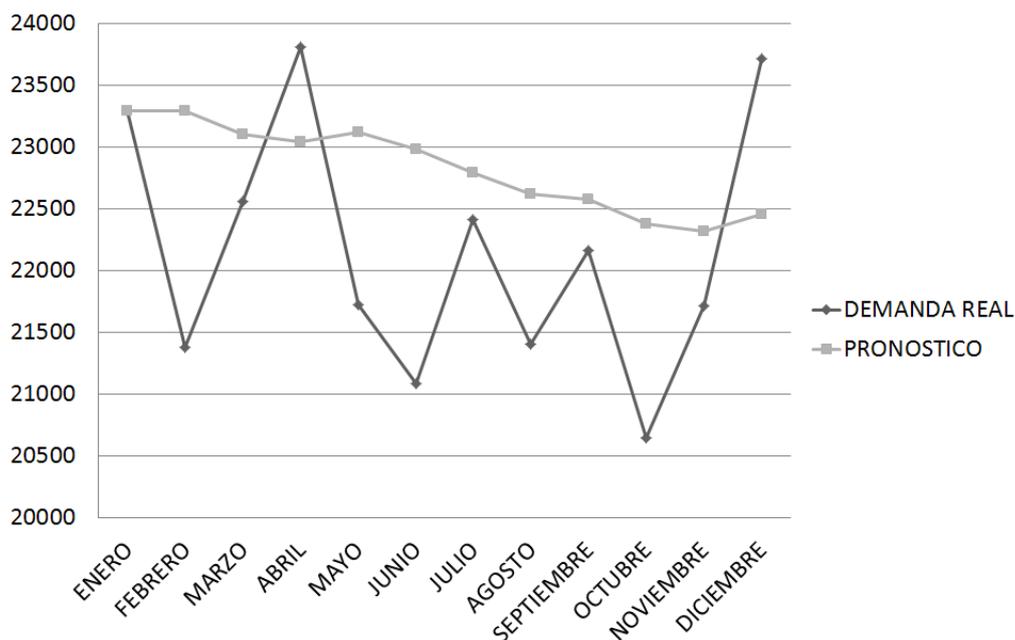


Figura 1.11. Comparación de los datos reales con el pronóstico calculado

Se calcula el error del pronóstico con las ecuaciones 1.7 y 1.8, este valor será comparado con los valores del error obtenidos con las otras ponderaciones.

$$MAD = \frac{18340178.5000}{12} = 1528348.2090$$

$$STD = \sqrt{1528348.2090} = 1236.2638$$

La tabla 1.5, muestra los cálculos requeridos por el método de suavizamiento exponencial, con una ponderación de  $\alpha=0.2$ , para determinar la demanda que se presento en la tabla 1.3.

**Con  $\alpha=0.2$**

Se calculan los periodos de la misma manera que en estudio anterior, solo cambia el valor de  $\alpha=0.2$ .

**Tabla 1.5. Calculo de índices mensuales para suavizamiento exponencial con una ponderación de 0.2**

Mes	Ventas	Pronostico (ponderado)	Error ( $X_i-S_i$ )	Error absoluto ( $X_i-S_i$ ) <sup>2</sup>
Enero	23289	23289.0000	0.0000	0.0000
Febrero	21383	23289.0000	-1906.0000	3632836.0000
Marzo	22562	22907.8000	-345.0000	119025.0000
Abril	23812	22838.6400	973.3600	947429.6896
Mayo	21721	23033.3120	-1312.3120	1722162.7850
Junio	21084	22770.8496	-1686.8496	2845461.5730
Julio	22412	22433.4797	-21.4797	461.3775
Agosto	21403	22429.1838	-1026.1038	1052889.0080
Septiembre	22162	22223.9470	-61.9470	3837.4308
Octubre	20649	22211.5576	-1562.5576	2441586.2530
Noviembre	21719	21899.0461	-180.0461	32416.5981
Diciembre	23712	21863.0369	1848.9631	3418664.5450
Enero	-----	22232.8295	-----	16216770.2600

En la figura 1.12, se realiza una comparación grafica entre los valores reales y los pronósticos obtenidos.

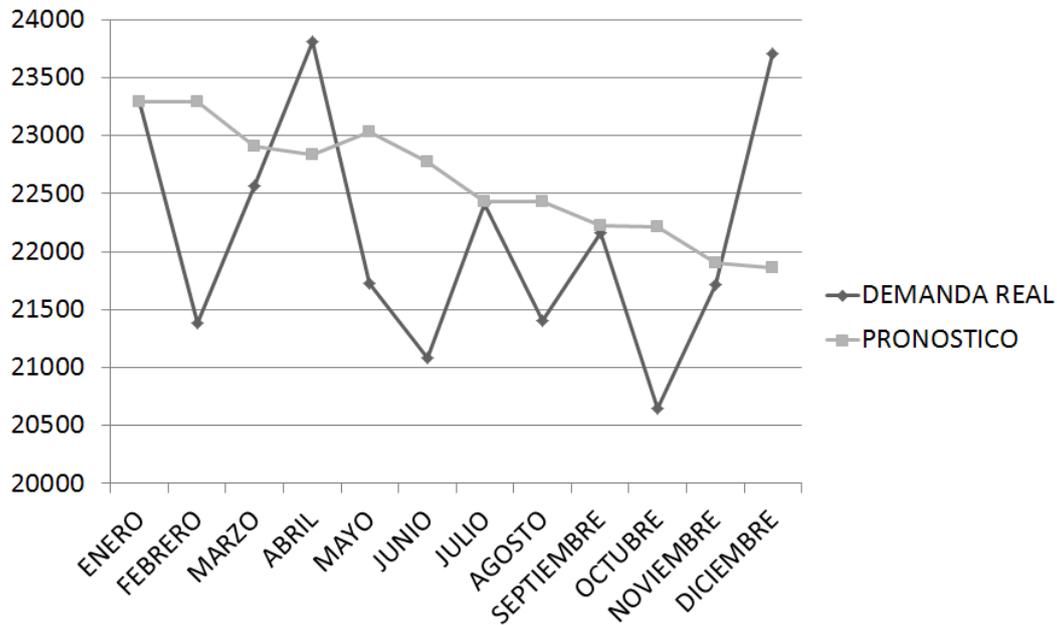


Figura 1.12. Comparación de los datos reales con el pronóstico calculado

Se calcula el error del pronóstico con las ecuaciones 1.7 y 1.8, este valor será comparado con los valores del error obtenidos con las otras ponderaciones.

$$MAD = \frac{16216770.2600}{12} = 1351397.5220$$

$$STD = \sqrt{1351397.5220} = 1162.4962$$

La tabla 1.6, muestra los cálculos requeridos por el método de suavizamiento exponencial, con una ponderación de  $\alpha=0.3$ , para determinar la demanda que se presenta en la tabla 1.3.

**Con  $\alpha=0.3$**

Se calculan los periodos de la misma manera que en los estudios anteriores, solo cambia el valor de  $\alpha=0.3$ .

Tabla 1.6. Calculo de índices mensuales para suavizamiento exponencial con una ponderación de 0.3.

Mes	Ventas	Pronostico (ponderado)	Error $(X_i - S_i)$	Error absoluto $(X_i - S_i)^2$
Enero	23289	23289.0000	0.0000	0.0000
Febrero	21383	23289.0000	-1906.0000	3632836.0000
Marzo	22562	22717.0000	-155.0000	24025.0000
Abril	23812	22670.5000	1141.5000	1303022.2500
Mayo	21721	23012.9500	-1291.9500	1669134.8030
Junio	21084	22625.3650	-1541.3650	2375806.0630
Julio	22412	22162.9555	249.0445	62023.1630
Agosto	21403	22237.6689	-834.6689	696672.1726
Septiembre	22162	21987.2682	174.7318	30531.2019
Octubre	20649	22039.6877	-1390.6877	1934012.2790
Noviembre	21719	21622.4814	96.5186	9315.8401
Diciembre	23712	21651.4370	2060.5630	4245919.8770
Enero	-----	22269.6059	-----	15983298.6500

En la figura 1.13, se realiza una comparación grafica entre los valores reales y los pronósticos obtenidos.

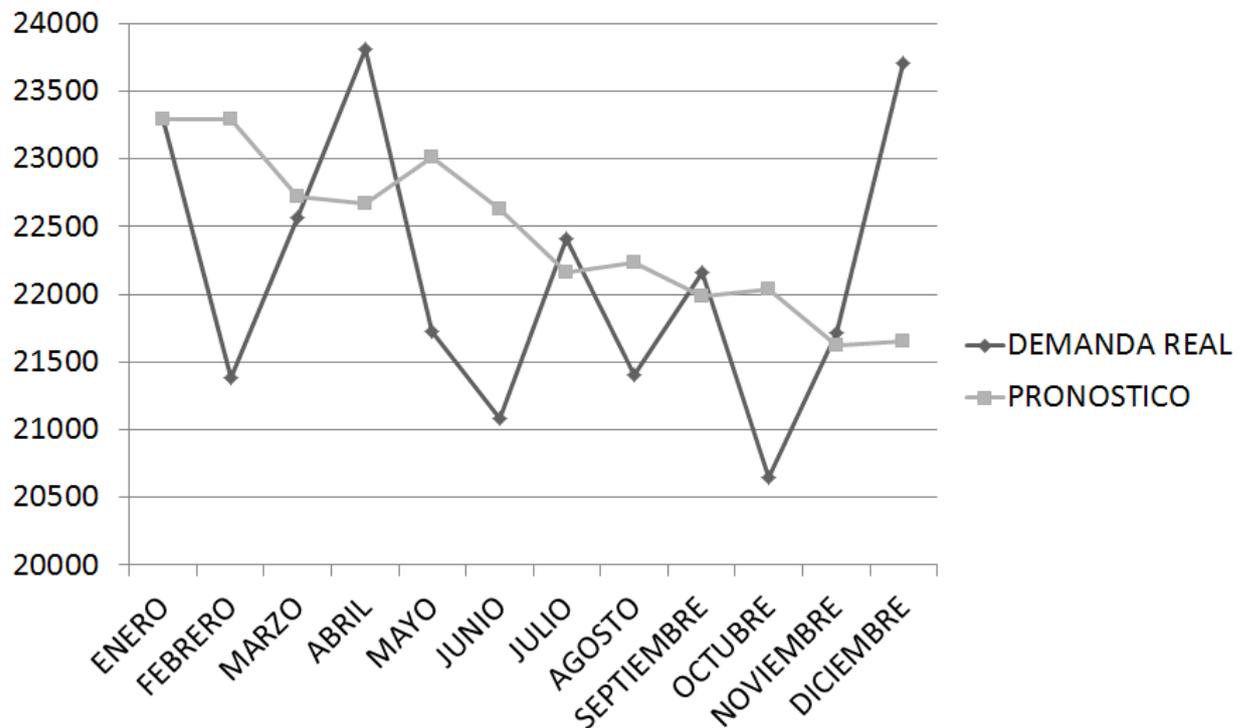


Figura 1.13. Comparación de los datos reales con el pronóstico calculado

Se calcula el error del pronóstico con las ecuaciones 1.7 y 1.8, este valor será comparado con los valores del error obtenidos con las otras ponderaciones.

$$MAD = \frac{15983298.6500}{12} = 1331941.5540$$

$$STD = \sqrt{1331941.5540} = 1154.0977$$

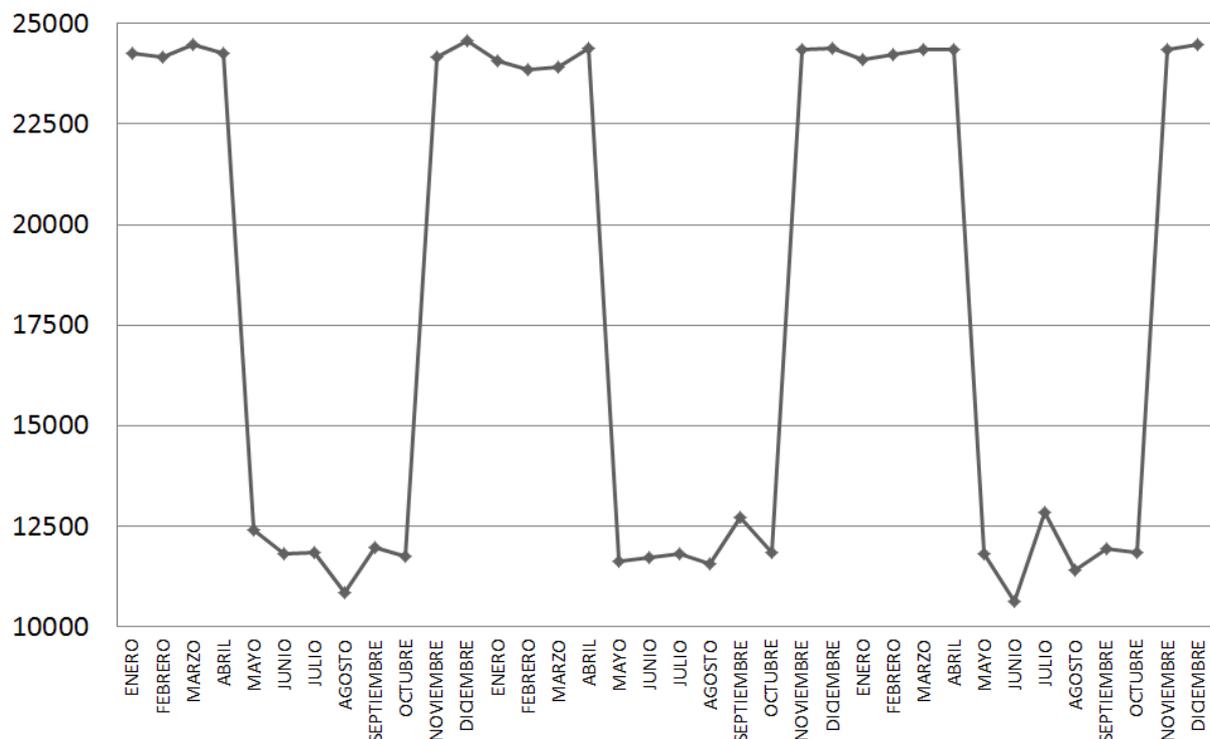
El pronóstico más acertado es el que se obtuvo con  $\alpha=0.3$ , por que tiene el error más pequeño, además su grafica simula mejor el comportamiento de las ventas reales.

**c) Registros para una demanda con comportamiento cíclico o estacional:**

En la tabla 1.7, se presentan datos históricos que simulan un comportamiento cíclico, representados gráficamente en la figura 1.14.

**Tabla 1.7. Datos históricos con tendencia cíclica o estacional.**

Mes	Numero de artículos vendidos	Mes	Numero de artículos vendidos	Mes	Numero de artículos vendidos
Enero	24254	Enero	24086	Enero	24102
Febrero	24164	Febrero	23861	Febrero	24242
Marzo	24491	Marzo	23912	Marzo	24351
Abril	24253	Abril	24371	Abril	24345
Mayo	12418	Mayo	11612	Mayo	11823
Junio	11829	Junio	11731	Junio	10631
Julio	11839	Julio	11827	Julio	12831
Agosto	10832	Agosto	11572	Agosto	11419
Septiembre	11984	Septiembre	12732	Septiembre	11925
Octubre	11753	Octubre	11851	Octubre	11831
Noviembre	24162	Noviembre	24363	Noviembre	24361
Diciembre	24571	Diciembre	24398	Diciembre	24488



**Figura 1.14: Distribución de la demanda, tipo cíclica o estacional.**

Este patrón de demanda muestra un ciclo estacional bien definido, con una demanda alta en los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre, y baja demanda en los demás meses. Si suponemos que este patrón continuará, podemos proyectar la curva de demanda futura. Para poder realizar esto se tiene que eliminar el componente estacional en el patrón de demanda, para esto se aplicara el método de los *índices*.

Los pasos de este método son los siguientes:

- Se deben encontrar los índices para todos los datos, esto se logra dividiendo cada valor de datos entre el promedio de la temporada analizada.
- Para nivelar las variaciones, el índice final para el periodo, será el promedio de todos los índices de este periodo en las temporadas analizadas.
- Para pronosticar del periodo deseado, basta con multiplicar el índice de ese periodo por el promedio general de los datos.

La tabla 1.8, muestra los cálculos requeridos por el método de los índices para el patrón de demanda que se presento en la tabla 1.7.

**Tabla 1.8. Calculo de los índices mensuales para la demanda estacional.**

Mes	Datos de la demanda			Índices de cada mes			Promedio de los índices mensuales	Pronostico para el siguiente periodo
	Año 1	Año2	Año3	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>		
<b>Enero</b>	24254	24086	24102	1.34	1.34	1.34	1.34	24165.23
<b>Febrero</b>	24164	23861	24242	1.34	1.32	1.34	1.33	23984.89
<b>Marzo</b>	24491	23912	24351	1.36	1.33	1.35	1.35	24357.30
<b>Abril</b>	24253	24371	24345	1.34	1.35	1.35	1.35	24357.30
<b>Mayo</b>	12418	11612	11823	0.69	0.64	0.66	0.66	11826.06
<b>Junio</b>	11829	11731	10631	0.66	0.65	0.59	0.63	11361.26
<b>Julio</b>	11839	11827	12831	0.66	0.66	0.71	0.68	12262.95
<b>Agosto</b>	10832	11572	11419	0.60	0.64	0.63	0.63	11180.93
<b>Septiembre</b>	11984	12732	11925	0.66	0.71	0.66	0.68	12262.95
<b>Octubre</b>	11753	11851	11831	0.65	0.66	0.66	0.66	11834.06
<b>Noviembre</b>	24162	24363	24361	1.34	1.35	1.35	1.35	24367.31
<b>Diciembre</b>	24571	24398	24488	1.36	1.35	1.36	1.36	24494.34
<b>Promedio por año</b>	18045.833	18026.333	18029.083					
<b>Promedio general</b>		18033.750						

Se calcula las piezas que se podrían vender en el mes de enero del año 4 o del periodo 37, multiplicando el índice promedio del mes de enero por el promedio general de los 3 años estudiados

$$x'_{37} = (1.34)(18033.750) = 24165.23$$

*\* Nota: En los análisis realizados en las prácticas subsecuentes, el valor la demanda mensual es el obtenido mediante el método de los índices (24165 piezas). Debido a que es modelo de la demanda es muy similar a la demanda de juguetes.*

## 6.2. Definición de las condiciones de trabajo.

A los estudiantes se les hará entrega de un robot de juguete o un helicóptero de juguete (según su elección o gusto), un manual de instrucciones de armado y una lista de los códigos de cada pieza (figura 1.15), con esto el estudiante definirá los ensambles que se realizarán dentro de las 6 estaciones de trabajo; esta distribución se muestra en la tabla 1.9. Además de esto, se deberán establecer los siguientes aspectos:

- Duración de la jornada laboral.
- Definición del tiempo de descanso por turno.
- Días hábiles al año.
- Días inhábiles a la semana.
- Numero de turnos en un día hábil.

Se tomaran estas consideraciones durante el desarrollo de este manual de prácticas. Para los aspectos de la programación, análisis, control y evaluación de los procesos de producción. Se ha definido las siguientes condiciones:

- La duración de la jornada laboral más utilizada en una microempresa de manufactura es aproximadamente de 9 hrs.
- El tiempo de descanso en una jornada laboral será de 40min.
- Se realizan juntas de 10 minutos al inicio y al finalizar cada jornada laboral.
- La cantidad de días hábiles varía de una empresa a otra, pero comúnmente se laboran 6 días y se descansa 1.
- Durante un día laboral, solo habrá un turno

PIEZA	CÓDIGO	CANTIDAD EN EL ALMACÉN	PIEZA	CÓDIGO	CANTIDAD EN EL ALMACÉN
	A0	20		L0	20
	B0	20		M0	160
	C0	120		N0	20
	C1	20		P0	20
	C2	80		R0	40
	E0	20		S0	20
	F0	40		T0	20
	H0	20		W0	20
	J0	160		X0	20
	J1	20		Y0	20

Figura 1.15. Identificación de piezas mediante una letra y un número.

Tabla 1.9. Distribución inicial para el armado de los robots.

Estación	Piezas involucradas		Numero de trabajadores	Pieza saliente
1	CO	4	1	Pecho (Z0)
	C1	1		
	EO	1		
	PO	1		
2	A0	2	1	Cadera (Z2)
	CO	2		
	HO	1		
	TO	1		
	YO	1		
	Z1	1		
3	C2	1	1	Brazo derecho (Z3)
	JO	1		
	J1	1		
	LO	2		
	MO	3		
	Z2	1		
4	BO	1	1	Brazo izquierdo (Z4)
	C2	1		
	MO	1		
	NO	1		
	RO	1		
	XO	1		
	Z3	1		
5	C2	1	1	Pierna derecha (Z5)
	FO	1		
	JO	2		
	MO	2		
	WO	1		
	Z4	1		
6	C2	1	1	Pierna izquierda (Z6)
	FO	1		
	JO	2		
	MO	2		
	SO	1		
	Z5	1		

### 6.3. *Calculo de los tiempos de producción.*

En este punto los estudiantes deberán trabajar en parejas.

Cada pareja recibirá un robot o helicóptero de juguete y un cronometro. Uno de los miembros realizara el ensamble de cada estación 2 o 3 veces, mientras que el otro miembro toma el tiempo que tarda en realizar cada operación. Una vez hecho esto, el que realizaba los ensambles tomará el tiempo, y el que tomo el tiempo realizará la misma cantidad de veces los ensambles de cada estación de trabajo.

Cundo todas las parejas hayan terminado, se recopilara la información y se realizará un promedio del tiempo que se tarda en realizar cada estación de trabajo, estos tiempos se presentan en la tabla 1.10 (los tiempos mostrados en la tabla 10, fueron tomados sin hacer funcionar la línea de ensamble).

**Tabla 1.10. Tiempo necesario para realizar cada operación.**

<b>Operación</b>	<b>Tiempo de operación en segundos</b>	<b>Producción mensual requerida en unidades</b>	<b>Tiempo total en días</b>
<b>Pecho</b>	31.91	24165	30
<b>Cadera</b>	33.34	24165	30
<b>Brazo derecho</b>	37.21	24165	30
<b>Brazo izquierdo</b>	34.82	24165	30
<b>Pierna derecha</b>	35.23	24165	30
<b>Pierna izquierda</b>	34.97	24165	30
<b>Total</b>	207.48		

Como cada estación tiene un tiempo distinto de ensamble, por ende el tiempo para producir las unidades pedidas será distinto, para solucionar esto, se calcula el promedio de los tiempos y su desviación estándar, si ningún dato esta fuera de  $\pm 2\sigma$ , podemos concluir que este sistema esta balanceado y es aceptable como modelo de producción.

La tabla 1.11 muestra los cálculos requeridos para obtener la desviación estándar de operación de la tabla 1.10.

Tabla 1.11. Cálculos requeridos para la desviación estándar

Operación	Tiempo de operación en segundos	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$
Pecho	31.91	-2.67	7.1289
Cadera	33.34	-1.24	1.5376
Brazo derecho	37.21	2.63	6.9169
Brazo izquierdo	34.82	0.24	0.0576
Pierna derecha	35.23	0.65	0.4225
Pierna izquierda	34.97	0.39	0.1521
<b>Total</b>	<b>207.48</b>		<b>16.2156</b>

Ecuación para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad \text{Ec. 1.9}$$

Con la ecuación 1.4 y 1.9 se calculan el promedio de los valores y la desviación estándar de estos:

$$\bar{x} = \frac{207.48}{6} = 34.58$$

$$s = \sqrt{\frac{16.2156}{6}} = 1.6440$$

Como ningún dato está fuera del intervalo  $\pm 2\sigma$ , se concluye que este sistema es aceptable para simular un modelo de producción.

Los datos mostrados en la última columna de la tabla 1.10 (tiempo en días), se obtuvieron de la siguiente manera:

Se calcula la producción en una jornada laboral, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$Pd = \frac{T_D - T_c}{T_o} \quad \text{Ec. 1.10}$$

Donde:

Pd: Es la producción diaria o en una jornada laboral.

TD: Es el tiempo durante un día hábil o una jornada laboral.

Tc: Es el tiempo necesario para realizar un producto completamente.

To: Es el tiempo promedio asignado por operación.

Como se menciona anteriormente la jornada laboral sería de 9hrs, pero como se tiene 40min de descanso, y dos juntas de 10min, el tiempo disponible de producción es de 8hrs, este tiempo se transforma a segundos, entonces queda:

Si:

1hrs= 3600s.

8hrs= 28800s.

Con la ecuación 1.10, se calcula la cantidad de piezas producidas en un día. Para este cálculo se toma en cuenta el promedio del tiempo de las operaciones, para obtener un valor promedio de la producción ideal.

$$Pd = \frac{28800 - 207.48}{34.58} = 811.72 \approx 811 \text{ piezas producidas diariamente}$$

Se obtiene la cantidad de días necesarios para cubrir esta demanda, dividiendo la demanda mensual entre la cantidad de piezas producidas diariamente.

$$\frac{\text{demanda}}{\text{piezas producidas en un día}} = \frac{24165}{811} = 29.8 \text{ días} \approx 30 \text{ días}$$

Tomando en consideración el resultado anterior, se realiza el diagrama de Gantt, mostrado en la figura 1.16, en este diagrama las barras de color azul muestran el tiempo ideal que se necesita para producir 811 unidades, mientras que las barras de color rojo muestran el tiempo de seguridad del 5% del tiempo de producción, para producir los posibles faltantes o reponer el tiempo perdido por retrasos, accidentes o cualquier imprevisto posible.

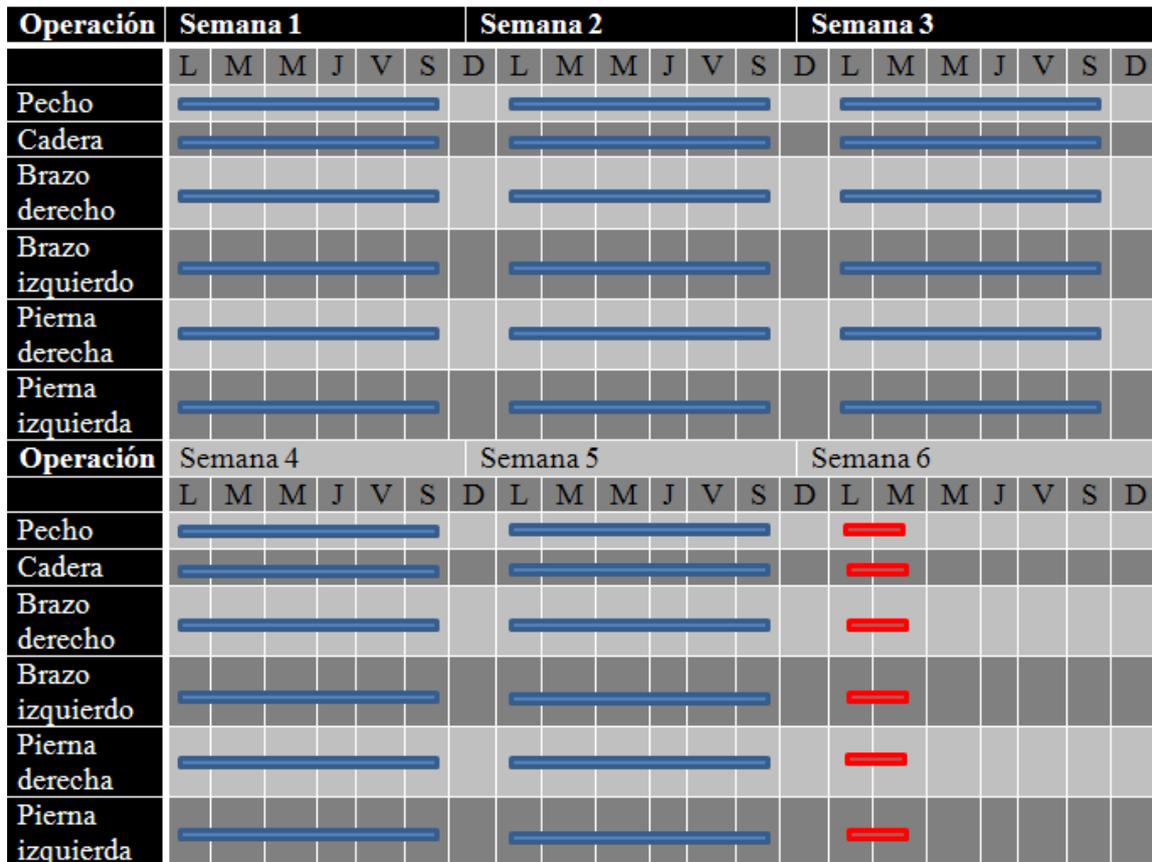


Figura 1.16. Diagrama de Gantt

Al llevarse acabo relativamente al mismo tiempo todas las operaciones se producen 811 robots diariamente, si esto es cierto podemos decir que, se pueden realizar todas las operaciones al mismo tiempo, creando un flujo continuo de un solo producto, sin tener que realizar todos los ensambles de un solo proceso hasta terminarlo, y continuar con el siguiente.

Con la supervisión del profesor o el encargado del laboratorio, los estudiantes acondicionan la línea de ensamble “azul” para poner a prueba la distribución antes discutida. Anotando las observaciones y el tiempo muerto en cada estación de trabajo en la tabla 1.12.

*\*Nota: Para calcular los tiempos promedio mostrados en la tabla 1.12, se realizaron 16 muestras de tamaño 5 y se registraron los errores cometidos durante el ensamble.*

Tabla 1.12. Tiempo necesario para realizar cada operación

Operación	Tiempo por operación en segundos	Tiempo inactivo en segundos	Producción mensual requerida en unidades	Tiempo total en días
<b>Pecho</b>	31.91	0.00	24165	31
<b>Cadera</b>	33.46	0.12	24165	31
<b>Brazo derecho</b>	37.21	0.00	24165	31
<b>Brazo izquierdo</b>	37.54	2.72	24165	31
<b>Pierna derecha</b>	36.85	1.62	24165	31
<b>Pierna izquierda</b>	36.75	1.78	24165	31
<b>Total</b>	213.60	6.12		

Al término de la prueba práctica se procede a llenar la tabla 1.12, con los datos obtenidos, el llenado de esta tabla es muy similar a la tabla 1.10, con excepción de que el tiempo por operación ilustrado, es la suma del tiempo por operación de la tabla 1.10 más el tiempo inactivo que tuvo el operario durante la prueba.

Con la información ilustrada se realiza un nuevo diagrama de Gantt, para ello se tiene que calcular nuevamente la producción diaria, usando las ecuaciones 1.4 y 1.10.

$$X' = \frac{213.60}{6} = 35.60$$

$$Pd = \frac{28800 - 213.60}{35.60} = 802.98 \approx 802 \text{ piezas producidas diariamente}$$

$$\frac{\text{demanda}}{\text{piezas producidas en un día}} = \frac{24165}{802} = 30.13 \text{ días} \approx 31 \text{ días}$$

En la figura 1.17 muestra el diagrama de Gantt con los resultados anteriores.



Figura 1.17. Diagrama de Gantt

## 7. Resultados.

- El pronostico calculado mediante el método de los índices, simula bien el comportamiento mostrado por los valores históricos, este valor estima o anticipa que se podrían incrementar las ventas del mes de enero en el siguiente periodo, aunque los valores anteriores muestran una pequeña caída de las ventas en los dos primeros años del mes y un ligero incremento un el ultimo año, por lo cual se decidió aceptar el pronostico, sabiendo que si las ventas volvieran a caer se tendría que realizar una venta de liquidación de los productos que no se vendieran para reducir al máximo las perdidas posibles.
- Como la desviación estándar entre los valores de las operaciones se mantiene en el rango  $\pm 2\sigma$  y ambos diagramas de Gantt se mantiene sin grandes cambios, se concluye que el sistema de producción establecido, simula a un verdadero sistema de producción. Aunque hay que hacer hincapié que, al incrementarse el  $T_c$  y al disminuir el valor de la producción diaria, en el caso de ocurrir cualquier imprevisto, ocasionara grandes retrasos en las entregas de producto terminado a los mercados.

## ***8. Cuestionario final.***

*¿Son los mismos tiempos de operación en la mesa de trabajo que en la línea de ensamble?, ¿Por qué?*

No, por que al ver una estación de trabajo con más tiempo de operación que las demás, esta ocasiona un cuello de botella, esto anexado a que la primeras 2 estaciones de trabajo son las rápidas, se crearon retrasos.

*¿Por qué existen estos tiempos muertos?*

Existen por una mala distribución del trabajo en la línea de ensamble, materia prima en malas condiciones (rota), por errores, distracciones y por falta de habilidad de los operarios.

*¿Qué diferencia en días se obtuvo en los diagramas de Gantt?*

Solo se obtuvo un incremento de 0.33 días, lo cual no es tan significativo solo observando el diagrama de Gantt, pero si es significativo en la practica, ya que se llegaría a un retraso en la entrega del producto al cliente.

*¿Crees que con la curva de aprendizaje se podrían disminuir los tiempos de cada operación? Explica por que.*

Si por que al paso del tiempo se van a reducir los tiempos de ensamble, sin que se realice ninguna mejora a la línea.

## ***9. Conclusiones de la práctica.***

El estudiar la información que se tiene sobre las ventas de cierto o ciertos productos, sirve para que se pueda establecer el número de unidades que se van a producir en un periodo de tiempo, con el fin de reducir los costos de almacenamiento de productos que no se vendieron en ese periodo (si estos no son perecederos) o tener que venderlos a un precio más bajo por que no se pueden almacenar (si estos son perecederos), además de las condiciones imprevistas que esta expuesto el mercado (por ejemplo conflictos devaluaciones, descenso en el poder adquisitivo del mercado, incremento de impuestos, etc.). Por todo esto el realizar un buen pronóstico es vital, aunque siempre exista una incertidumbre sobre el verdadero número de unidades que se vendaran, entre más información se tenga sobre el mercado objetivo, menor será la incertidumbre y más acertado será el pronostico obtenido.

El pronóstico calculado por cualquier técnica tendrá que ser analizado y evaluado por el analista o analistas, para conocer si este valor es óptimo o no, ya que este valor solo facilita la toma de decisiones.

En la práctica se puede observar que al plantear la producción y realizar una programación del tiempo necesario para producir “x” cantidad de productos en forma teórica, tomando en cuenta todos los posibles factores que puedan afectar la producción, no siempre, los valores obtenidos serán iguales a los obtenidos mediante la verdadera puesta en marcha de la producción.

Hay que mencionar que aunque los valores teóricos no sean iguales a los reales, se tienen que asemejar mucho, ya que si estos discrepan demasiado las pérdidas por ensambles erróneos, accidentes o retrasos, podrían ser demasiado grandes, por ello se tiene que adquirir toda la información que se pueda sobre los posibles problemas en la forma de producción, desde los tiempos de producción, la capacitación y habilidad de los trabajadores, la forma y eficiencia de la comunicación de los diferentes departamentos involucrados en la producción y los equipos que van a ser utilizados. Con toda esta información se puede planear un tiempo de producción óptimo, añadiendo un tiempo de respaldo por cualquier retraso que se pueda presentar, sin que este sea demasiado grande o pequeño.

## Capítulo 2

### *“Control de la Producción”*

#### *Desarrollo de Practica 2.*

#### *Duración de la práctica: 1 sesiones.*

#### **1. Objetivo.**

Al finalizar esta práctica, el estudiante tendrá la capacidad de controlar el proceso de la producción, desde la recepción de materia prima hasta el producto terminado.

#### **2. Introducción.**

El control de producción es la función de manejar y regular el movimiento metódico de los diversos materiales durante todo el ciclo de elaboración, partiendo desde la requisición de las materias primas, hasta la entrega del producto terminado, por medio de la transmisión de instrucciones a los empleados, dependiendo siempre del tipo de plan que se lleve a cabo en las instalaciones.

Para lograr que el control de producción sea eficiente, la gerencia de la empresa debe estar informada acerca de cómo se van desarrollando los trabajos a realizar, el tiempo utilizado y la cantidad producida, para poder realizar alguna modificación en los planes establecidos, respondiendo a las posibles situaciones que se pueden presentar. De todas formas se debe tener en cuenta que el control de producción es mucho más que simplemente planeación.

El control de producción debe pronosticar la demanda que posee el producto fabricado, indicando la cantidad en función del tiempo de producción. Para ello es fundamental que se realice una comprobación de la demanda real comparándola con la demanda planteada y así realizar las correspondientes correcciones en los planes del control de producción. Por otra parte es importante que el control establezca los volúmenes económicos en los lotes de los artículos que se han de fabricar, para de esta manera, se logre, que el control de producción determine las necesidades y requerimientos de la producción junto con los niveles en determinados puntos de la dimensión del tiempo que se requiere. Las funciones finales con las que debe cumplir el control de producción

de toda industria es la elaboración de los programas detallados de la producción junto con la planificación de la distribución de los productos. En el caso de la programación del control de producción, ésta constituye el núcleo del mismo ya que el proceso de fabricación se encuentra compuesto por la entrada de materiales utilizados en el producto, mientras que la operación que abarca la transformación de la materia prima en el correspondiente producto constituye el potencial de salida.

Podemos definir el control de producción, como "la toma de decisiones y acciones que son necesarias para corregir el desarrollo de un proceso, de modo que se apegue al plan trazado".

*Ventajas del control de la producción:*

El control de la producción trae algunas ventajas como son:

- Organización en la producción
- Se controla el consumo de materias primas.
- Se controla en tiempo trabajado por operario.
- Se verifican las cantidades producidas.

Este control se puede realizar a través de diversas herramientas como son:

- El modelo EOQ (cantidad económica a pedir a un proveedor).
- Control de materias primas.
- Ordenes de producción.
- Reportes de trabajo.

### ***3. Marco teórico de la practica***

#### ***3.1. Control de la producción.***

El control de producción es la función de manejar y regular el movimiento metódico de los diversos materiales durante todo el ciclo de elaboración, partiendo desde la requisición de las materias primas, hasta la entrega del producto terminado, por medio de la transmisión de instrucciones a los empleados, dependiendo siempre del tipo de plan que se lleve a cabo en las instalaciones.

Para lograr que el control de producción sea eficiente, la gerencia de la empresa debe estar informada acerca de cómo se van desarrollando los trabajos a realizar, el tiempo utilizado y la cantidad producida, para poder realizar alguna modificación en los planes establecidos, respondiendo a las posibles situaciones que se pueden presentar. De todas

formas se debe tener en cuenta que el control de producción es mucho más que simplemente planeación.

El control de producción debe pronosticar la demanda que posee el producto fabricado, indicando la cantidad en función del tiempo de producción. Para ello es fundamental que se realice una comprobación de la demanda real comparándola con la demanda planteada y así realizar las correspondientes correcciones en los planes del control de producción. Por otra parte es importante que el control establezca los volúmenes económicos en los lotes de los artículos que se han de fabricar, para de esta manera, se logre, que el control de producción determine las necesidades y requerimientos de la producción junto con los niveles en determinados puntos de la dimensión del tiempo que se requiere. Las funciones finales con las que debe cumplir el control de producción de toda industria es la elaboración de los programas detallados de la producción junto con la planificación de la distribución de los productos. En el caso de la programación del control de producción, ésta constituye el núcleo del mismo ya que el proceso de fabricación se encuentra compuesto por la entrada de materiales utilizados en el producto, mientras que la operación que abarca la transformación de la materia prima en el correspondiente producto constituye el potencial de salida.

### ***3.1.1. Funciones y ventajas del control de la producción.***

#### *Funciones del control de producción.*

- Pronosticar la demanda del producto, indicando la cantidad en función del tiempo.
- Comprobar la demanda real, compararla con la planteada y corregir los planes si fuere necesario.
- Establecer volúmenes económicos de partidas de los artículos que se han de comprar o fabricar.
- Determinar las necesidades de producción y los niveles de existencias en determinados puntos de la dimensión del tiempo.
- Comprobar los niveles de existencias, comparándolas con los que se han previsto y revisar los planes de producción si fuere necesario.
- Elaborar programas detallados de producción.
- Planear la distribución de productos.

#### *Ventajas del control de la producción*

- Organización en la producción
- Se controla el consumo de materias primas.
- Se controla en tiempo trabajado por operario.

- Se verifican las cantidades producidas.

### ***3.2. Control de materia prima.***

#### ***3.2.1. Inventarios.***

El inventario es el almacenamiento de bienes y productos. En manufactura, los inventarios se conocen como SKU (Stock keeping Units) y se mantiene en un sitio de almacenamiento. Los SKU comúnmente consiste en:

- Materias primas.
- Productos en proceso.
- Productos terminados.
- Suministros.

##### ***3.2.1.1 Importancia de los inventarios.***

La importancia de los inventarios radica principalmente en los siguientes aspectos:

- El inventario permite ganar tiempo, ya que ni la producción ni la entrega pueden ser instantánea, se debe contar con una existencia del producto a las cuales se puede recurrir rápidamente para que la venta real no tenga que esperar hasta que termine el cargo proceso de producción.
- Este permite hacer frente a la competencia, si la empresa no satisface la demanda del cliente se ira con la competencia, esto hace que la empresa no solo almacene inventario suficiente para satisfacer la demanda que se espera, si no una cantidad adicional para satisfacer la demanda inesperada.
- El inventario permite reducir los costos a que da lugar a la falta de continuidad en le proceso de producción. Además de ser una protección contra los aumentos de precios y contra la escasez de materia prima.
- Si la empresa provee un significativo aumento de precio en las materias primas básicas, tendrá que pensar en almacenar una cantidad suficiente al precio más bajo que predomine en el mercado, esto tiene como consecuencia una continuación normal de las operaciones y una buena destreza de inventario.

### ***3.2.1.2. Objetivo de los inventarios.***

Existen varios objetivos en el control de inventarios en ocasiones hay que hacer ciertas excepciones, ya que tal vez no sea posible lograr todos los puntos.

- Minimizar la inversión.
- Minimizar los costos de almacenamiento.
- Minimizar las pérdidas por daño y con los artículos perecederos.
- Mantener un inventario suficiente para la producción no carezca de materias primas, partes y suministros.
- Mantener un transporte eficiente.
- Mantener información reciente de inventarios.
- Proporcionar el valor del inventario contabilidad.
- Cooperar con las adquisiciones de manera que se puedan lograr compras económicas y eficientes.
- Hacer predicciones sobre las necesidades del inventario.

### ***3.2.1.3. Clasificación de inventarios.***

El inventario puede clasificarse por su forma o función:

#### *Clasificación de inventarios por su forma*

El inventario se mantiene de tres formas distintas:

- *Inventario de materia prima (MP)*: Constituyen los insumos y materiales básicos que ingresan al proceso.
- *Inventario de producto en proceso (PP)*: Son los materiales en proceso de producción.
- *Inventario de producto terminado (PT)*: Son los artículos que han pasado por los procesos productivos correspondiente y que serán destinados a su comercialización o entrega.

### *Clasificación de inventarios por su función*

- *Inventario de seguridad o de reserva*: Es aquel que se mantiene para compensar los riesgos de paros no planeados de la producción o incrementos inesperados en la demanda de los clientes.
- *Inventario de desacoplamiento*: Es aquel que se requiere entre dos procesos u operaciones adyacentes, cuyas tasas de producción no pueden sincronizarse.
- *Inventario en tránsito*: Esta constituido por materiales que avanzan en la cadena de valor. Estos materiales son artículos que se han pedido pero no se han recibido todavía.
- *Inventario de ciclo*: Resulta cuando la cantidad de unidades compradas o producidas, con le fin de reducir los costos por unidad de compra o incrementar la eficiencia de la producción, es mayor que las necesidades inmediatas de la empresa.
- *Inventario de previsión o estacional*: Se acumula cuando una empresa produce más de los requerimientos inmediatos durante los periodos de demanda baja para satisfacer las de demanda alta.

### **3.2.1.4. Características de los inventarios**

Las características de los inventarios se rigen principalmente por los siguientes aspectos:

- *Demanda*.

Los supuestos que se hacen acerca del comportamiento y características de la demanda (pronósticos), pueden ser, con frecuencia, lo más importante para la determinar la complejidad del modelo de control resultante. Estas pueden ser:

- ✓ *Constante o variable*: En estos modelos, más sencillos de inventario se supone que la tasa de demanda es una constante. El modelo de cantidad económica del pedido (EOQ, *economic order quantity*) y sus extensiones se basan en este supuesto. La demanda variable se presenta en distintos contextos, que incluyen la planeación agregada y la planeación de requerimientos de materiales.
- ✓ *Conocida o desconocida*: Es posible que la demanda esperada sea constante, pero al mismo tiempo aleatoria.
- ✓ *Tiempo de demora*: Si se piden los artículos del exterior, el tiempo de demora se define como el intervalo de tiempo que pasa desde el instante en

que se realiza un pedido hasta que llega el dicho artículo. Si los artículos se producen internamente, el tiempo de demora se interpreta como el tiempo requerido para producir un lote de artículos.

- *Tiempo de revisión.*

Existen dos tipos de revisión:

- ✓ *Revisión continua:* Se conoce siempre el nivel actual de inventarios. Es un supuesto exacto cuando se registran las transacciones de la demanda en el momento en el que ocurren.
- ✓ *Revisión periódica:* Los niveles de inventario solo se conocen en puntos discretos del tiempo.

- *Exceso de demanda.*

Esta característica se refiere a la manera en que el sistema reacciona hacia los excesos de demanda, esto es cuando la demanda no se puede satisfacer con las existencias actuales. Los supuestos más comunes son que el exceso de demanda se mantiene para ser satisfecho en el futuro o se pierde (se satisface fuera del sistema). Entre otras posibilidades se incluye que parte de la demanda se mantiene y la otra parte se pierde.

- *Inventario cambiante*

En algunos casos el inventario sufre cambios a través del tiempo, que puede afectar la utilidad. Algunos artículos tienen vida limitada en almacén, como por ejemplo los alimentos.

### ***3.2.1.5. Costos de inventarios.***

Cuanto mayor sea el nivel promedio del inventario, mayor será el costo total de producción. En general, los costos relacionados con el inventario comprenden:

- *Costos del artículo:* Se refiere al precio de compra de algún artículo que la empresa adquiera o esta produzca.
- *Costos de colocación del pedido:* Estos costos están asociados por el transporte de un pedido de artículos.
- *Costos de organización del proceso:* Son los costos de cambiar el proceso de producción de un producto a otro.
- *Costos de mantenimiento:* Son los gastos en que se incurre al mantener inventarios.
- *Costos de agotamiento de existencias:* Se causan cuando la empresa no puede satisfacer por completo el pedido de un cliente. La compañía pierde el margen de aportación de esa venta y puede perder ventas futuras. En algunas ocasiones debe pagar una sanción.

### ***3.2.1.6. Modelos de inventarios***

#### ***3.2.1.6.1. Modelos determinísticos.***

Los modelos para una demanda independiente surgen del supuesto clave, que la demanda de un artículo que se lleva en inventario es independiente de la demanda de cualquier otro artículo que se lleve también en dicho inventario. La demanda de estos artículos se estima a partir de pronósticos o de pedidos reales de los clientes. Cuando la demanda es conocida con cierto grado de certidumbre estamos en presencia de un modelo determinístico.

##### ***3.2.1.6.1.1. Modelos de inventarios con demanda determinística.***

Para el análisis de inventarios con demanda determinística se analizan los siguientes modelos:

### 3.2.1.6.1.1.1. Modelo EOQ (economic order quantity).

El objetivo del modelo de inventarios EOQ, es determinar el tamaño del lote ( $Q$ ) que minimice los costos de colocación del pedido y los costos de manejo de inventario, en condiciones casi ideales, partiendo de las siguientes suposiciones:

- La demanda es constante y conocida.
- No se admiten faltantes.
- Existe un costo de mantener guardado inventario.
- Existe un costo de pedido.
- Los costos se mantienen constantes.
- La reposición es instantánea (El pedido no sufre retrasos).
- Los pedidos se mandan completos.

En la figura 2.1 aparece una estructura supuesta del nivel de inventarios en relación con el tiempo. Se piden  $Q$  unidades cuando el nivel de inventarios baja el punto de reorden (ROP). El pedido se coloca precisamente en el punto tal que la demanda durante el tiempo de entrega del material ( $t_o$ ) reducirá el inventario a cero. El pedido previo de  $Q$  unidades se hace en el momento adecuado para recibirlo exactamente en ese punto, el cual eleva el nivel del inventario a  $Q$ , y el ciclo se repite.

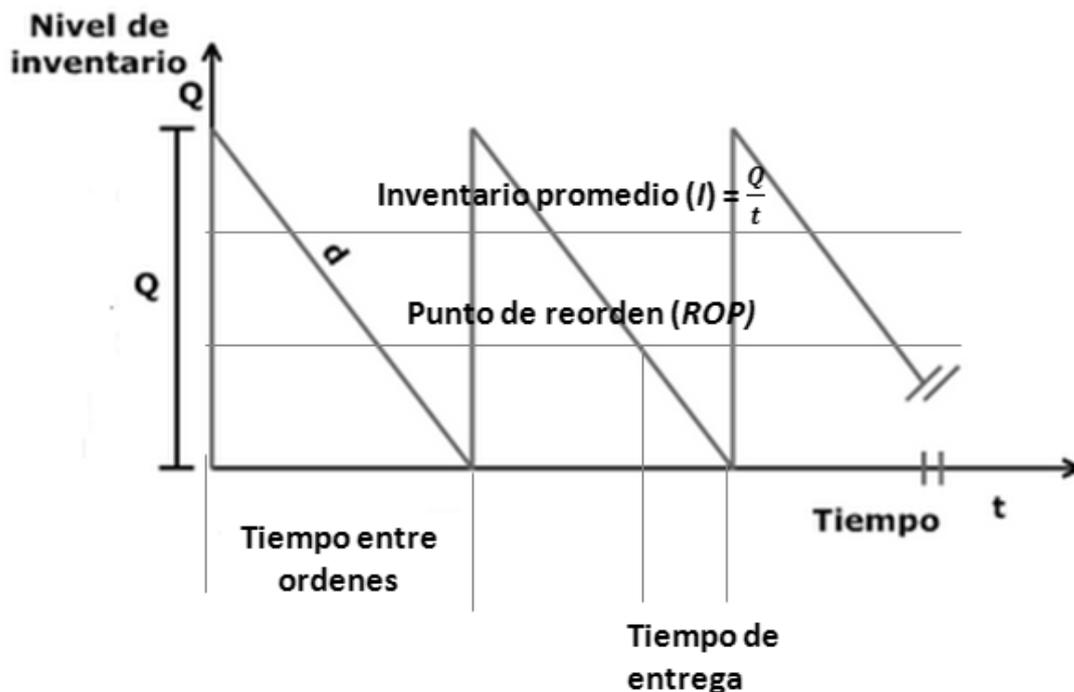


Figura 2.1. Estructura de los niveles de inventario en relación con el tiempo en el modelo EOQ.

En donde:

Q: Es la cantidad económica del pedido.

d: Es la demanda por unidad de tiempo.

El modelo EOQ requiere los siguientes parámetros:

A: Es el costo por ordenar.

i: Es el interés anual para mantener el inventario.

K (Q): Es el costo total anual promedio.

C: Es el costo unitario del paquete o pieza.

N: Es el número de órdenes por año.

T: Es el tiempo de espera entre órdenes.

Los costos marginales en este sistema son los relacionados con mantener el inventario y los asociados con los costos de preparación del pedido de tamaño  $Q$ . por lo tanto, la función de costos que se quiere reducir al mínimo es:

*Costo total anual del inventario*

$$K(Q) = \frac{AD}{Q} + \frac{iCQ}{2}$$

El tamaño del lote,  $Q$ , es la variable que se encuentra bajo control de la dirección. En la figura 2.1 se observa, que si se incrementa  $Q$ , aumentara proporcionalmente el nivel promedio de los inventarios,  $\frac{Q}{2}$ . Si el costo de mantener el inventario por unidad por año es “ic”, los costos marginales anuales asociados con el inventario son:

$$\frac{iCQ}{2}$$

Mientras los costos de preparación anual dependen del número de veces que se formulen pedidos cada año y del costo marginal de cada pedido.

El número de pedidos que se formulen para satisfacer un requerimiento anual de la demanda (D) dependerá del tamaño de lote,  $Q$ , de cada pedido, o sea  $\frac{D}{Q}$ . Si el costo de preparación es “A” por pedido, los costos anuales de preparación se pueden expresar así:

$$\frac{AD}{Q}$$

Estos dos componentes del costo aparecen en la figura 2.2, que al sumarse en forma algebraica se obtiene el costo total del inventario.

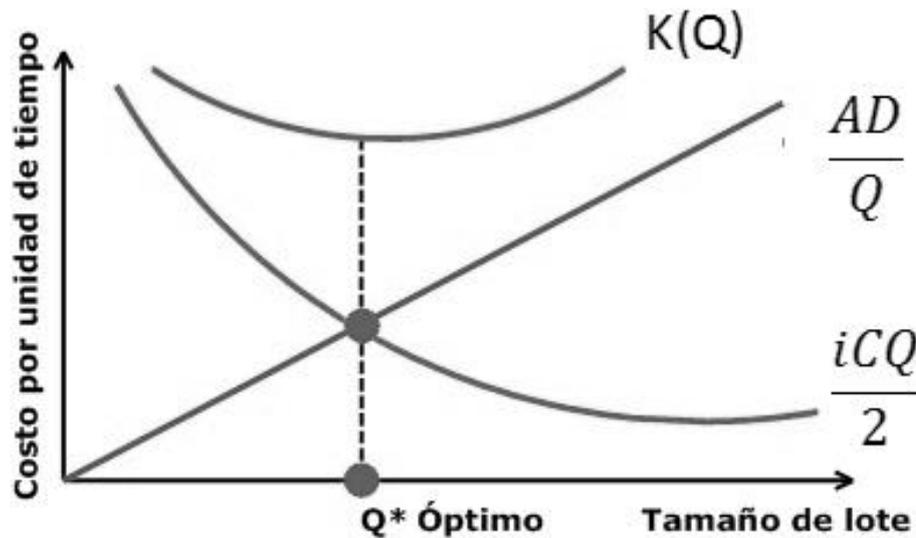


Figura 2.2. Modelo EOQ de inventarios.

Para desarrollar formulas de fácil cálculo que sean aplicables a cualquier conjunto de datos principiaremos con la expresión *Costo total anual del inventario*. Esta es una ecuación de la curva del costo total, pero se desea determinar una expresión general para  $Q$ , el tamaño de lote correspondiente al mínimo de la curva. Matemáticamente esto se puede lograr encontrando el valor de  $Q$  en que la pendiente de la curva del costo sea igual a cero. Utilizando los elementos del cálculo diferencial sencillo, tenemos que la primera derivada de la ecuación del costo total con relación a  $Q$  es:

$$\text{Min } \frac{\partial K(Q)}{\partial Q} = \frac{\partial}{\partial Q} \frac{AD}{Q} + \frac{\partial}{\partial Q} \frac{iCQ}{2} = \frac{ic}{2} - \frac{AD}{Q^2}$$

El valor de esta ecuación es la pendiente de la línea tangente a la curva del costo marginal total. Como se desea conocer el valor de  $Q$ , cuando está pendiente tiene valor cero; por tanto se igualara la ecuación a cero y se resuelve con respecto a  $Q$ :

$$\frac{ic}{2} - \frac{AD}{Q^2} = 0$$

$$\frac{ic}{2} = \frac{AD}{Q^2}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2AD}{h}}$$

Por lo tanto la ecuación para calcular la cantidad óptima de unidades (Q) que se debe pedir por periodo o ciclo (ti), con el fin de obtener los costos totales mínimos, es la siguiente:

*Cantidad óptima a ordenar*

$$Q = \sqrt{\frac{2AD}{h}}$$

Para determinar el número de pedidos a realizar durante un tiempo determinado, en este caso tomaremos como referencia un año, dividimos la demanda total en ese tiempo, entre la cantidad que se desea adquirir por pedido. Esta variable se denotará como N. Por consiguiente N se expresa como:

*Numero de órdenes en un periodo*

$$N = \frac{D}{Q}$$

El tiempo “ti” también lo podemos expresar en término de la demanda anual y la cantidad, de la siguiente forma:

*Tiempo de espera entre órdenes*

$$T = \frac{Q}{D} = \frac{1}{N}$$

### 3.2.1.6.1.1.2. Algoritmo Silver-Meal.

El algoritmo Silver-Meal (SM) es un método heurístico\* de vanguardia que pretende obtener el costo promedio mínimo para la orden de compra más el costo de mantener el inventario, en función del número de periodos futuros que el pedido actual generará. El cálculo se detendrá cuando esta función se incremente.

*\*Un método heurístico, es un enfoque que aprovecha la estructura del problema mediante el uso de un conjunto de reglas y procedimientos racionales. En la mayoría de los casos se obtiene una buena solución; en ocasiones, la óptima.*

Este algoritmo se basa en la ecuación siguiente:

$$K'(m) = \frac{1}{m} \{A + HD_2 + 2HD_3 + \dots + (m - 1)HD_m\}$$

Donde:

m: 1,2,...n: Se detiene el procedimiento cuando  $K'(m+1) > K'(m)$ .

$K'(m)$ : Es el costo variable promedio por unidad.

A: Es el costo de la orden de compra o de preparación para la producción.

H: Es el costo de mantenimiento del inventario por periodo.

$D_m$ : Es la demanda por periodo.

### 3.2.1.6.1.1.3. Costo unitario mínimo.

El costo unitario mínimo (CUM) es un método parecido al algoritmo de Silver-Meal, la diferencia radica en que la decisión se basa en el costo variable promedio por unidad por periodo. El método del costo unitario mínimo se apoya en la siguiente ecuación:

$$K'(m) = \frac{A + HD_2 + 2HD_3 + \dots + (m - 1)HD_m}{D_1 + D_2 + \dots + D_m}$$

Donde:

m: 1,2,...n. Se detiene el procedimiento cuando  $K'(m+1) > K'(m)$ .

$K'(m)$ : Es el costo variable promedio por unidad.

A: Es el costo de la orden de compra o de preparación para la producción.

H: Es el costo de mantenimiento del inventario por periodo.

$D_m$ : Es la demanda por periodo.

#### ***3.2.1.6.1.1.4. Balanceo de periodo fragmentado.***

El balanceo de periodo fragmentado (BPF) intenta equilibrar el costo de ordenar un pedido y el costo de mantener el inventario tomando en cuenta las necesidades del tamaño del siguiente lote en el futuro. El equilibrio de unidades entre pedidos genera una tasa unidad periodo económica (EPP, por sus siglas en ingles) o factor de periodo fragmentado (FPF), que es la relación entre el costo de ordenar y el costo de mantenimiento del inventario. Las formulas de este modelo son:

$$FPF = \frac{A}{H}$$

$$VF_m = D_2 + 2D_3 + 3D_4 + \dots + (m - 1)D_m$$

Donde:

m: 1,2,...n. Se detiene el procedimiento cuando  $K'(m+1) > K'(m)$ .

FPF: Es el factor de periodo fragmentado.

A: Es el costo de la orden de compra o de preparación para la producción.

H: Es el costo de mantenimiento del inventario por periodo.

$VF_m$ : Es el valor fragmentado para "m" periodos.

$D_m$ : Es la demanda por periodo.

#### ***3.2.1.6.2. Modelos probabilísticos.***

Ocurre cuando la demanda sobre un periodo de tiempo es incierta pero puede describirse en términos de una distribución de probabilidad.

Se supone que se conoce la distribución de probabilidad para la demanda, pero que esa demanda es impredecible en un día o un mes dado. Con frecuencia, este es el caso. Cuando se trata de ventas en una tienda, ventas industriales y la mayoría de los servicios.

La incertidumbre al predecir la demanda significa que, siempre existe la posibilidad de que existan faltantes, es decir, de quedar artículos en almacén. El riesgo puede reducirse teniendo un inventario grande, pero nunca puede eliminarse. La tarea de administrar los inventarios es balancear el riesgo de faltantes y el costo de la existencia adicional.

En la mayoría de los sistemas de inventarios, el costo de quedar sin artículos en el almacén no se conoce con exactitud. En estos casos, la administración debe tomar una decisión subjetiva en cuanto al riesgo que se correrá.

### 3.2.1.6.2.1. Modelos de inventarios con demanda probabilística.

Para el análisis de inventarios con demanda incierta o probabilística existen los siguientes modelos:

#### 3.2.1.6.2.1.1. Modelo de cantidad fija de reorden.

Factores que se deben considerar al administrar cualquier sistema de inventarios:

- Riego de faltantes.
- Costos.
- Registros.
- Almacenamiento físico.
- Demanda.
- Número de artículos que se van a manejar.

La operación de un modelo de cantidad fija de reorden se muestra en la figura 2.3

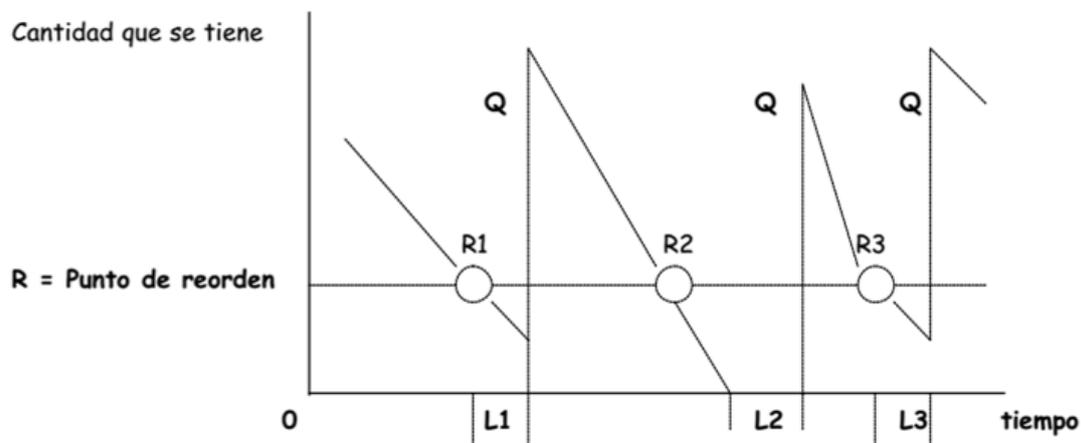


Figura 2.3. Sistema general de cantidad fija de reorden.

Se permite que la demanda y el tiempo de entrega varíen aleatoriamente y se supone que el abastecimiento es global (todo junto).

Cuando el inventario se decrece hasta el punto de reorden (R) se coloca un pedido por la cantidad fija (Q) como el tiempo de entrega y la demanda varían, la cantidad que se tiene en el momento en que se recibe la orden también varía, puede ocurrir faltantes

como se muestra en el periodo L2, si se aumenta el periodo de reorden se reduce la posibilidad de faltantes pero el costo de mantenimiento aumenta.

El reto es encontrar el mejor intercambio entre el riesgo de faltantes y el aumento en el costo de mantenimiento. Lograr esto depende de que se conozcan o no los costos de faltantes.

### ***3.2.1.6.2.1.2. Modelo de inventario de cantidad fija de reorden de un solo periodo (un solo pedido).***

Este modelo se refiere a situaciones de inventarios en los que se coloca un pedido para el producto; al final del periodo, el producto se ha agotado, o existe un exceso de artículos que no se han vendido y que deben venderse a un precio de oferta. El modelo de un solo pedido es aplicable a situaciones en las que se tienen artículos estacionales o perecederos que no se pueden conservar en el inventario para su venta en periodos futuros.

En estas situaciones, el comprador coloca un periodo antes de la temporada para cada artículo y después llega a un agotamiento de las existencias o realiza una venta de oferta sobre las existencias excedentes, al final de la temporada. No se pueden mantener artículos en los inventarios para su venta en el periodo siguiente, como se colocan pedidos solo una vez cada periodo, la única decisión sobre el inventario que se debe tomar es cuanto se debe pedir el inicio del periodo.

Si se conociera la demanda para una situación de inventario de un solo periodo, la solución sería sencilla: simplemente se pediría la cantidad que se sabe de la demanda. Sin embargo, en la mayor parte de los modelos de periodo único no se conoce la demanda exacta. De hecho, los pronósticos pueden mostrar que la demanda puede tener una amplia variedad de valores. Si se ha de analizar en forma cuantitativa este tipo de problema de inventario, se requiere información respecto a las probabilidades correspondientes a los distintos valores de la demanda.

En este modelo en particular la cantidad óptima de pedido “Q” se debe hacer uso del método del análisis de incrementos, el cual aborda la cuestión de cuanto pedir comparado el costo o pérdida de solicitar una unidad adicional, con el costo o pérdida de no pedir dicha unidad.

### 3.3. *Controles directos*

Los controles administrativos son de fundamental importancia para la vigilancia del proceso de producción, los controles directos más comunes son:

- Ordenes de producción.
- Ordenes de mantenimiento.
- Reportes de trabajo.

El trámite administrativo es el flujo de información que coincide con el plan operativo del departamento. Sin embargo, el sistema que se siga debe ser sencillo y práctico. Habrá que reducir al mínimo la cantidad de documentos, tales como solicitudes de trabajos de mantenimiento, ordenes de trabajo para las cuales se necesita calcular el costo o aplicar horas estándar, y registros históricos de todo de reparaciones o de artículos producidos.

Los procedimientos deben ser analizados, valorados y cambiados, si se hace indispensable, para que puedan alcanzarse los objetivos de un tiempo óptimo de aprovechamiento en la producción y un costo óptimo de mantenimiento.

Cada forma de documento debe servir para una finalidad específica. Las formas innecesarias o muy elaboradas tienden a oscurecer el modelo básico y son un desperdicio de tiempo. Por otra parte, si las formas son demasiado pocas se puede incurrir a una escasez de información esencial.

Todo trabajo de mantenimiento o de producción debe originarse en un documento, a efecto de evitar la realización de labores sin importancia o no autorizadas, y para contar con un registro de la tarea efectuada.

### 3.3.1. Ordenes de producción

La orden de producción es el control individualizado que se lleva a cada pedido o trabajo que se esta elaborado, es un sistema que puede utilizar las empresas productoras de bienes o las que se dedican a la prestación de servicios. Todas estas solicitudes se detallan en una forma estándar, como la presentada en la figura 2.4.

Este modelo se puede modificar para adaptarse a la metodología de flujo de información del sistema de producción.

ORDEN DE PRODUCCIÓN	
Orden de producción No.	
Cliente:	
Artículo:	Cantidad:
Fecha de entrega:	
Especificaciones:	
Elaboración del pedido	
Fecha de inicio:	
Fecha de termino:	

Figura 2.4. Formato estándar de una Orden de producción o de trabajo.

Objetivos de la orden de producción:

- Su objetivo principal es el control de la eficiencia operativa, por lo cual este sistema de costos resulta óptimo para los fines administrativos de planeación y control de los costos.
- Llevar un conteo de las materias primas y mano de obra.
- Mantener un control de la producción.

Existen tres formas de generar órdenes de producción:

- *Manualmente:* A través de la opción agregar del catálogo de órdenes o con un manual de órdenes.
- *Automáticamente:* Se generan órdenes tanto para productos terminados como para subensambles.

- *Fabricación directa*: Esta opción recorre el ciclo de vida completo de una orden y, por tanto, la genera, lleva el seguimiento y la cierra.

### 3.3.2. *Reportes de trabajo*

Es una tarjeta u hoja que contiene la información recopilada durante la jornada laboral dentro de la línea de producción, e indica la cantidad de unidades producidas durante el día o las actividades realizadas del operario de cada estación, también señala los problemas, errores o retrasos ocasionados por la maquinaria o por el personal, además de accidentes y el mantenimiento realizado en el área de trabajo o en equipo.

## 4. . *Cuestionario introductorio.*

### *¿Defina el concepto de control de la producción?*

Función de dirigir o regular el movimiento metódico de los materiales por todo el ciclo de fabricación, desde la requisición de materiales primas, hasta la entrega del producto terminado, mediante la transmisión sistemática de instrucciones a los subordinados, según el plan que se utiliza en las instalaciones del modo más económico.

### *¿Cuáles son las funciones del control de la producción?*

- Pronosticar la demanda del producto, indicando la cantidad en función del tiempo.
- Establecer volúmenes económicos de partidas de los artículos que se han de comprar o fabricar.
- Determinar las necesidades de producción y los niveles de existencias en determinados puntos de la dimensión del tiempo.
- Comprobar los niveles de existencias, comparándolas con los que se han previsto y revisar los planes de producción si fuere necesario.
- Elaborar programas detallados de producción.
- Planear la distribución de productos.

### *¿Qué es un inventario y cuales son sus tipos?*

Conjunto de bienes, tanto muebles como inmuebles, con los que cuenta una empresa para comerciar. De este modo, con los elementos del inventario es posible realizar transacciones, tanto de compra como de venta, así como también es posible someterlos a ciertos procesos de elaboración o modificación antes de comerciar con ellos.

Tipos de inventarios:

- Inventario perpetuo
- Inventario intermitente
- Inventario final
- Inventario inicial
- Inventario físico
- Inventario de materia prima
- Inventario en proceso
- Inventario en consignación
- Inventario máximo
- Inventario mínimo
- Inventario disponible
- Inventario en línea
- Inventario agregado
- Inventario en cuarentena
- Inventario de prevención
- Inventario de lote o de tamaño de lote
- Inventario estacionales
- Inventario intermitente
- Inventario permanente
- Inventario cíclico

### *¿Cuáles son las ventajas y desventajas de tener un inventario?*

#### *Ventajas:*

- Permitir un trabajo nivelado, a pesar de tener diferentes capacidades a lo largo de la cadena.
- Ofrecer una variedad de bienes que le permitan al cliente elegir (comercios).
- Poder responder ante un cambio repentino en la demanda respecto a lo pronosticado.
- Aprovechar los descuentos por cantidad.
- Protegerse ante la inflación y los cambios de precios.
- Protegerse ante posible escasez de insumos críticos.

#### *Desventajas:*

- Capital inmovilizado.
- Espacio para el almacenamiento.
- Personal para el movimiento de mercaderías.
- Servicios (calefacción, refrigeración, etc.)
- Seguros, vigilancia.
- Costos de calidad:
  - ✓ Mayor exposición a posibles daños físicos.
  - ✓ Detección tardía de defectos.

## ***5. Desarrollo de la práctica.***

### ***5.1. Control de inventarios.***

#### ***5.1.1. Calculo de lote económico (modelo EPQ).***

Se calcula la cantidad de materia prima óptima que se debe ordenar al proveedor, el costo anual por mantener el inventario, el número de ordenes de materia prima en un periodo de tiempo y el tiempo de espera entre las ordenes.

Esto se realizará mediante el modelo de inventario EOQ sin permitir faltantes, para hacer uso de este modelo son necesarias las siguientes ecuaciones:

*Cantidad optima a ordenar*

$$Q = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad \text{Ec: 2.1}$$

*Costo total anual promedio del inventario*

$$K(Q) = \frac{AD}{Q} + \frac{iCQ}{2} \quad \text{Ec: 2.2}$$

*Número de órdenes en un periodo*

$$N = \frac{D}{Q} \quad \text{Ec: 2.3}$$

*Tiempo de espera entre órdenes*

$$T = \frac{Q}{D} \quad \text{Ec: 2.4}$$

*Punto de reorden (ROP)*

$$ROP = \left(\frac{Da}{Dh}\right) (to) \quad \text{Ec 2.5}$$

Donde:

Q: Es la cantidad económica del pedido.

A: Es el costo por ordenar.

D: Es la demanda por unidad de tiempo.

i: Es el interés anual para mantener el inventario.

K (Q): Es el costo total anual promedio.

C: Es el costo unitario del paquete o pieza.

N: Es el número de órdenes por año.

T: Es el tiempo de espera entre órdenes.

ROP: Es el punto de reorden.

Da: Es la demanda anual de las piezas.

Dh: Es la cantidad de días hábiles en un año.

to: Es el tiempo que tarda en llegar el pedido al almacén de materia prima.

Para la correcta aplicación del modelo se tiene que definir los siguientes aspectos:

- El costo por orden.
- Tasa de interés anual por el manejo de inventario.
- Los costos unitarios por paquete.
- El tiempo que tarda la entrega del pedido.

Se establecieron las siguientes condiciones de almacenaje y precios de materia prima.

- Costo por orden: \$100.00
- Interés anual por manejo del inventario: 10%
- Se decidió que las piezas necesarias para el ensamble de un robot se venden por separado y que cada paquete de piezas tiene el mismo costo: \$15.00.
- El tiempo de entrega es de 2 días.
- Demanda mensual de 24165 robots.

Como solo se tiene la demanda de robots mensuales se requiere conocer las cantidades exactas de las piezas involucradas. En la tabla 2.1, se muestra los requerimientos diarios, mensuales y anuales de cada pieza utilizada en el proceso de armando del robot de juguete.

*\*El siguiente análisis es conducido de esta manera, por las disposiciones del material, mobiliario y equipo dentro del laboratorio del LIME III, ya que es necesario producir mediante el sistema “one piece flow” (flujo de una pieza).*

Tabla 2.1. Requerimiento anual de las piezas utilizadas en el armado del robot.

<b>Código de la pieza</b>	<b>Requerimiento diario</b>	<b>Requerimiento mensual</b>	<b>Requerimiento anual</b>
A0	1934	48330	579960
B0	967	24165	289980
C0	5802	144990	1739880
C1	967	24165	289980
C2	3868	96660	1159920
E0	967	24165	289980
F0	1934	48330	579960
H0	937	24165	289980
J0	4835	120825	1449900
J1	967	24165	289980
L0	1934	48330	579960
M0	7736	193320	2319840
N0	967	24165	289980
P0	967	24165	289980
R0	967	24165	289980
S0	967	24165	289980
T0	967	24165	289980
W0	967	24165	289980
Y0	967	24165	289980

**Cálculo del lote óptimo de compra sin faltantes (EOQ).**

Para el cálculo del lote económico se hace uso de la tabla 2.1; al tener diferentes resultados en la demanda anual de las pizas, se calcula un diferente lote económico para cada una de ellas, mediante las ecuaciones 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5.

Para las piezas B0, C1, E0, H0, J1, N0, P0, R0, S0, T0, W0, X0, e Y0, cuya demanda es de 289980 unidades anuales.

La información que se tiene es la siguiente:

A: \$100  
D: 289980  
i: 10% = 0.1  
C: \$15  
to: 2 días

Los valores presentados a continuación solo son validos para aquellas piezas cuya demanda anual sea de 289980.

Utilizando la ecuación 2.1 se obtiene la cantidad económica a pedir:

$$Q = \sqrt{\frac{2(100)(289980)}{(0.1)(15)}} = 6218.0383 \approx 6219 \text{ unidades/orden}$$

Con la ecuación 2.2, se obtiene el costo anual de mantener el inventario para estas piezas:

$$K = \frac{100(289980)}{6218.0383} + \frac{(0.1)(15)(6218.0383)}{2} = 9327.0574$$

Con la ecuación 2.3, se obtiene el número de veces que se deberá realizar un pedido en un periodo de un año:

$$N = \frac{289980}{6219} = 46.63 \approx 47 \text{ ordenes al año}$$

Con la ecuación 2.4, se obtiene el tiempo de espera entre órdenes:

$$t_o = \frac{6219}{289980} = 0.214 \text{ años /orden}$$

Si suponemos que el año tiene 300 días hábiles, entonces se tiene que:

$$T = 6.43 \text{ días /orden} \approx 6 \text{ dias/orden}$$

Con la ecuación 2.5, se obtiene punto de reorden.

$$ROP = \left(\frac{289980}{300}\right) 2 = 1933.2 \approx 1933 \text{ unidades /día}$$

El tamaño de pedido ( $Q$ ) que minimiza los costos totales es de 6219 unidades. Adicionalmente, cada vez que en el inventario de materia prima de las piezas B0, C1, E0, H0, J1, N0, P0, R0, S0, T0, W0, X0, e Y0, lleguen a 1933 unidades en el almacén de materia prima, se deberá emitir un nuevo pedido por 6219 unidades de cada una.

Siguiendo con esta lógica, se procede a encontrar el lote económico ( $Q$ ) de las demás piezas.

**Para las piezas A0, F0 y L0, cuya demanda es de 579960 unidades anuales.**

Información conocida.

A: \$100  
D: 579960  
i: 10% = 0.1  
C: \$15  
to: 2 días

$$Q = 8793.6341 \approx 8794 \text{ unidades/orden}$$

$$K = 13190.4510$$

$$N = 65.9523 \approx 68 \text{ ordenes al año}$$

$$T = 0.0152 \text{ años /orden} = 4.5487 \approx 4 \text{ dias /orden}$$

$$ROP = 3866.4 \approx 3866 \text{ unidades /día}$$

Cada vez que en el inventario de materia prima de las piezas A0, F0 y L0, llegan a 3866 unidades en el almacén de materias primas, se deberá emitir un nuevo pedido por 8794 unidades de cada una.

**Para la pieza C2, cuya demanda es de 1159920 unidades anuales.**

Información conocida.

A: \$100  
D: 1159920  
i: 10% = 0.1  
C: \$15  
to: 2 días

$$Q = 12436.0766 \approx 12437 \text{ unidades/orden}$$

$$K = 18654.1156$$

$$N = 93.27 \approx 94 \text{ ordenes al año}$$

$$T = 0.0107 \text{ años /orden} = 3.2164 \approx 3 \text{ días /orden}$$

$$ROP = 7732.8 \approx 7733 \text{ unidades /día}$$

Cada vez que en el inventario de materia prima de la pieza C2 llegué a 7732 unidades en el almacén de materias primas, se deberá emitir un nuevo pedido por 12437 unidades.

**Para la pieza J0, cuya demande es de 1449900 unidades anuales.**

Información conocida.

A: \$100

D: 1449900

i: 10% = 0.1

C: \$15

to: 2 días

$$Q = 13903.9563 \approx 13904 \text{ unidedes/orden}$$

$$K = 20855.9344$$

$$N = 104.2997 \approx 105 \text{ ordenes al año}$$

$$T = 0.0096 \text{ años /orden} = 2.8769 \approx 2 \text{ días /orden}$$

$$ROP = 9666 \text{ unidades /día}$$

Cada vez que en el inventario de materia prima de la pieza J0 llegué a 9666 unidades en el almacén de materias primas, se deberá emitir un nuevo pedido por 13904 unidades.

**Para la pieza C0, cuya demanda es de 1739880 unidades anuales.**

Información conocida.

A: \$100  
D: 1739880  
i: 10% = 0.1  
C: \$15  
to: 2 días

$$Q = 15231.0210 \approx 15231 \text{ unidades/orden}$$

$$K = 22846.5316$$

$$N = 114.2327 \approx 115 \text{ ordenes al año}$$

$$T = 0.0088 \text{ años /orden} = 2.6262 \approx 2 \text{ días /orden}$$

$$ROP = 11599.2 \approx 11599 \text{ unidedes /día}$$

Cada vez que en el inventario de materia prima de la pieza C0 llegué a 11599 unidades en el almacén de materias primas, se deberá emitir un nuevo pedido por 15231.

**Para la pieza M0, cuya demanda es de 2319840 unidades anuales.**

Información conocida.

A: \$100  
D: 2319840  
i: 10% = 0.1  
C: \$15  
to: 2 días

$$Q = 17587.2681 \approx 17588 \text{ unidedes/orden}$$

$$K = 26380.9022$$

$$N = 131.9045 \approx 132 \text{ ordenes al año}$$

$$T = 0.0076 \text{ años /orden} = 2.27 \approx 2 \text{ días /orden}$$

$$ROP = 15465.6 \approx 15465 \text{ unidedes /día}$$

Cada vez que en el inventario de materia prima de la pieza M0 llegué a 15465 unidades en el almacén de materias primas, se deberá emitir un nuevo pedido por 17588.

### 5.1.2. Control de entrada y salida de materias primas del almacén.

Este registro permite controlar las entradas y salidas del almacén de materias primas. Al hacer entrega de materias primas se debe indicar la orden de producción en la que se va a utilizar, la cantidad entregada al almacén, la cantidad devuelta al almacén y la cantidad devuelta al stock. El formato presentado en la figura 2.5, será utilizado para controlar la materia prima entrante, mientras que la figura 2.6, controla la materia prima que sale del almacén y entra a la línea de producción.

Material requerido para el Periodo:		
Fecha de expedición del pedido:		
Fecha de entrega del pedido:		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
Observaciones		
Firma de conformidad		

Figura 2.5. Formato para el registro la materia prima al almacén.

Material requerido para la producción del producto:		
Destino:		
Nombre del responsable:		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
Observaciones		
Firma de conformidad		

Figura 2.6. Formato para la salida de materia prima del almacén

Haciendo uso de los formatos mostrados, se realiza el registro de la materia prima que ingresa en el periodo de enero, en las siguientes figuras se muestra el llenado del formato para el correcto registro e ingreso de materia prima de todas las piezas involucradas en el ensamble del robot de juguete.

Material requerido para el Periodo: ENERO		
Fecha de expedición del pedido: 2 de enero Fecha de entrega del pedido: 8 de enero		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
BO	6219	0
C1	6219	0
E0	6219	0
H0	6219	0
J1	6219	0
N0	6219	0
P0	6219	0
R0	6219	0
S0	6219	0
T0	6219	0
W0	6219	0
X0	6219	0
Y0	6219	0
<b>Observaciones:</b>	El material se encuentra en buenas condiciones	
<b>Firma de conformidad:</b>		

**Figura 2.7. Pedido para las piezas B0, C1, E0, H0, J1, N0, P0, R0, S0, T0, W0, X0, e Y0.**

Material requerido para el Periodo: ENERO		
Fecha de expedición del pedido: 2 de enero Fecha de entrega del pedido: 5 de enero		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
C2	12436	0
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
<b>Observaciones:</b>	El material se encuentra en buenas condiciones	
<b>Firma de conformidad:</b>		

**Figura 2.9. Pedido para la pieza C2.**

Material requerido para el Periodo: ENERO		
Fecha de expedición del pedido: 2 de enero Fecha de entrega del pedido: 4 de enero		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
A0	8975	-----
F0	8975	-----
L0	8975	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
<b>Observaciones:</b>	El material se encuentra en buenas condiciones	
<b>Firma de conformidad:</b>		

**Figura 2.8. Pedido para las piezas A0, F0 y L0.**

Material requerido para el Periodo: ENERO		
Fecha de expedición del pedido: 2 de enero Fecha de entrega del pedido: 4 de enero		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
J0	13904	0
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
<b>Observaciones:</b>	El material se encuentra en buenas condiciones	
<b>Firma de conformidad:</b>		

**Figura 2.10. Pedido para la pieza J0.**

Material requerido para el Periodo: ENERO		
Fecha de expedición del pedido: 2 de enero		
Fecha de entrega del pedido: 4 de enero		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
C0	15231	0
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
<b>Observaciones:</b>	El material se encuentra en buenas condiciones	
<b>Firma de conformidad:</b>		

**Figura 2.11. Pedido para la pieza C0.**

Material requerido para el Periodo: ENERO		
Fecha de expedición del pedido: 2 de enero		
Fecha de entrega del pedido: 4 de enero		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
M0	17588	0
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----
<b>Observaciones:</b>	El material se encuentra en buenas condiciones	
<b>Firma de conformidad:</b>		

**Figura 2.12. Pedido para la pieza M0.**

Una vez controlada los ingresos de materia prima al almacén, lo siguiente es controlar su salida a la línea de producción, para saber cuanto y cuando, se deben enviar los materiales requeridos a cada estación de trabajo, se toma en cuenta el número ideal de robots producidos diariamente (967 robots), tomado de la tabla 2.1.

Utilizando el formato de la figura 2.6, se realiza el correcto llenado de este, mostrado en las siguientes figuras:

Material requerido para la producción del producto: ROBOT		
Destino: Estación 1		
Nombre del responsable:		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
C0	3868	0
C1	967	0
B0	967	0
P0	967	0
<b>Observaciones</b>	El material se encuentra completo y en buenas condiciones	
<b>Firma de conformidad</b>		

**Figura 2.13. Formato de salida de material para la estación 1.**

Material requerido para la producción del producto: ROBOT		
Destino: Estación 2		
Nombre del responsable:		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
A0	1934	0
C0	1934	0
H0	967	0
T0	967	0
Y0	967	0
<b>Observaciones</b>	El material se encuentra completo y en buenas condiciones	
<b>Firma de conformidad</b>		

**Figura 2.14. Formato de salida de material para la estación 2.**

Material requerido para la producción del producto: ROBOT		
Destino: Estación 3		
Nombre del responsable:		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
C2	967	0
J0	967	0
J1	967	0
L0	1934	0
M0	2901	0
Observaciones		
El material se encuentra completo y en buenas condiciones		
Firma de conformidad		

Figura 2.15. Formato de salida de material para la estación 3.

Material requerido para la producción del producto: ROBOT		
Destino: Estación 4		
Nombre del responsable:		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
B0	967	0
C2	967	0
M0	967	0
N0	967	0
R0	967	0
X0	967	0
Observaciones		
El material se encuentra completo y en buenas condiciones		
Firma de conformidad		

Figura 2.16. Formato de salida de material para la estación 4.

Material requerido para la producción del producto: ROBOT		
Destino: Estación 5		
Nombre del responsable:		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
C2	967	0
F0	967	0
J0	1934	0
M0	1934	0
N0	967	0
Observaciones		
El material se encuentra completo y en buenas condiciones		
Firma de conformidad		

Figura 2.17. Formato de salida de material para la estación 5.

Material requerido para la producción del producto: ROBOT		
Destino: Estación 6		
Nombre del responsable:		
Materiales	Cantidad entregada	Cantidad devuelta
C2	967	0
F0	967	0
J0	1934	0
M0	1934	0
S0	967	0
Observaciones		
El material se encuentra completo y en buenas condiciones		
Firma de conformidad		

Figura 2.18. Formato de salida de material para la estación 6.

## 5.2 Aplicación de los controles directos de la producción.

A continuación se enuncian los aspectos que intervienen en el control de la producción.

### 5.2.1 Ordenes de producción

La orden de producción es el control individualizado que se lleva de cada pedido o trabajo que se esta elaborado, es un sistema que puede utilizar las empresas productoras de bienes o las que se dedican a la prestación de servicios.

Estos datos sirven para confeccionar las hojas de especificaciones, con la cual se hacen las requisiciones de almacén para que tenga listos los materiales, se entrega copia a los departamentos donde van a ser trabajados los artículos, de manera que cada jefe o capataz sepa los trabajos que van a ejecutarse en su departamento. En la figura 2.19 se muestra un ejemplo de este formato:

ORDEN DE PRODUCCIÓN	
Orden de producción No.	
Cliente:	
Artículo:	Cantidad:
Fecha de entrega:	
Especificaciones:	
Elaboración del pedido	
Fecha de inicio:	
Fecha de termino:	

Figura 2.19. Modelo de una orden de producción.

Con la información establecida en la práctica anterior, se podría realizar una simulación de una orden de producción, solo se necesita establecer un número de artículos solicitados, una fecha de entrega al cliente, y el tiempo de transporte del producto terminado a las manos del cliente.

Se consideraron las siguientes condiciones:

- 3000 piezas.
- Fecha de entrega 4 de enero.
- Especificaciones: armadura de color rojo y armas de color verde.
- Tiempo de transporte 1 día.
- Se producen 967 unidades diarias (cantidad de unidades ideales a producir para cubrir la demanda).
- El primero de enero y el 31 de diciembre no se labora.
- El material requerido esta siempre disponible en el almacén.
- No existe otra orden en la línea de producción.
- No existen retrasos de ningún tipo.

La orden de producción obtenida es mostrada en la figura 2.20.

ORDEN DE PRODUCCIÓN	
Orden de producción No. 1	
Cliente: <i>Juguetería Hernández</i>	
Artículo: robot	Cantidad: 3000
Fecha de entrega: 4 enero	
Especificaciones: <i>la armadura debe ser de color rojo y las armas de color verde.</i>	
Elaboración del pedido	
Fecha de inicio: 29 de diciembre	
Fecha de termino: 3 de enero	

**Figura 2.20. Orden de producción.**

Para obtener los días necesarios para la realización del pedido se dividió la cantidad solicitada entre la cantidad de unidades que se producen diariamente, y al tiempo de producción se le anexo los días inhábiles.

### 5.2.2 Reportes de trabajo

- *Nota:* En esta parte de la práctica se ha decidido trabajar con los tiempos de producción de la tabla 1.12, ya que son los tiempos que se obtuvieron en la línea de producción en la práctica anterior.

Es una tarjeta u hoja que se debe entregar al supervisor o al gerente, la cual contiene información que se recopiló durante la jornada laboral dentro de la línea de producción o ensamble, e indica la cantidad de unidades producidas durante el día o actividades realizadas del operario, también señala los problemas, errores o retrasos ocasionados por maquinaria o por el personal, además de accidentes y el mantenimiento realizado en el área de trabajo o en equipo.

Este reporte puede ser de un producto o de un operario, en este caso se utilizara un reporte de trabajo con respecto al ensamble de robot de juguete. En la figura 2.21 se muestra un ejemplo de este formato.

<b>Reporte de trabajo No.</b>				
<b>Turno:</b>				
<b>Producto realizado:</b>				
<b>Actividades realizadas</b>	<b>Producción</b>	<b>Errores</b>	<b>Accidentes</b>	<b>Mantenimiento realizado en el área de trabajo</b>
<b>Totales</b>				

Figura 2.21. Modelo de un reporte de trabajo

En esta parte los estudiantes, deben de utilizar las notas tomadas durante el desarrollo de la práctica anterior para simular este sistema de control. Hecho esto, los resultados obtenidos se deberán registrar en un reporte de trabajo.

Manipulando el formato presentado en la figura 2.22, se procede a su aplicación, la cual nos otorga los resultados de los ensambles realizados durante la jornada, los errores ocasionados y los accidentes en cada estación de trabajo, también indica, el mantenimiento o inspección realizados en cada estación de trabajo.

Reporte de trabajo No.1				
Turno: <b>Matutino</b>				
Producto realizado: <b>Robot</b>				
Actividades realizadas	Producción	Errores	Accidentes	Mantenimiento realizado
Ensamble de Z1	802	10	ninguno	
Ensamble de Z2	802	8	ninguno	
Ensamble de Z3	802	29	ninguno	Limpieza de la mesa de trabajo
Ensamble de Z4	802	15	ninguno	
Ensamble de Z5	802	24	ninguno	
Ensamble de Z6	802	18	ninguno	
Totales	802 unidades	104	ninguno	

Figura 2.22. Reporte de trabajo

Debemos recordar que este reporte no solo se puede entregar al finalizar una jornada laboral, sino también se puede recopilar esta información al terminar cierto número de unidades o lote, cada cierto tiempo. Todo esto depende que tanto la empresa desea monitorear en proceso de producción, siendo que entre más controlado este el sistema incrementará el costo para mantener este sistema, por ello se debe decidir que tanto se piensa invertir en este tipo de control.

### 5.2.3 Análisis de los controles directos de la producción.

La información obtenida de los reportes de trabajo debe compararse con las órdenes de producción, para verificar que si lo que se está realizando lo programado en la línea de producción. Utilice el modelo ilustrado en la figura 2.23.

En el control de la producción se pueden presentar 3 situaciones:

- Lo programado es igual a lo realizado y se cumplió con la programación establecida.
- Lo realizado es mayor que lo programado. En este caso, se realiza un análisis de las causas por las cuales hay una mayor producción de la requerida.
- Lo realizado es menor que lo programado. Se debe determinar las causas por las cuales no se pudo cumplir con la producción requerida e implementar los correctivos necesarios en el futuro.

<b>Control de la producción</b>		
<b>Para la orden de producción No.</b>		
Operaciones realizadas	Programado	Realizado

Figura 2.23. Modelo para llevar a cabo el control de la producción

Para el análisis de este reporte, se llena la primera columna con las operaciones realizadas, la siguiente con el total de ensambles u operaciones que se tuvieron que realizar y en la última columna lo realizado durante en el periodo de estudio.

Los resultados se presentan en la figura 2.24.

<b>Control de la producción</b>		
<b>Para la orden de producción No.1</b>		
Operaciones realizadas	Programado	Realizado
Ensamble de Z1	802	902
Ensamble de Z2	802	863
Ensamble de Z3	802	773
Ensamble de Z4	802	787
Ensamble de Z5	802	778
Ensamble de Z6	802	784

Figura 2.24. Control de la producción.

El análisis del control de la producción de la figura 2.24, es la siguiente:

Se produjo una mayor cantidad en los ensambles Z1 y Z2 debido a que su tiempo de operación es muy parecido al tiempo promedio asignado a cada operación, además de que se redujo el tiempo de ensamble por la curva de aprendizaje.

Por otro lado en el ensamble Z3 no se logro la producción, por que se cometían errores durante el ensamble y el tiempo de asignado para este ensamble era demasiado corto, lo que ocasiono un cuello de “botella” en la estación 3 disminuyendo la cantidad obtenida por las siguientes estaciones de trabajo.

Las acciones que se planearon realizar para solucionar este problema fue anexar otro operario en la estación 3, para tratar de eliminar ese retazo.

## **6. Resultados.**

Estos controles permiten saber cuantas unidades se producen en un cierto tiempo y los errores, accidente o retrasos surgidos. En la práctica se enfocó principalmente al problema de errores en la producción, con lo cual, la solución más rápida sería crear un stock de seguridad, lo cual permitirá, que, cuando se cometa un error o se incremente la demanda se pueda cubrir esta sin ningún problema.

## **7. Cuestionario final.**

*¿Se logro cumplir con la orden de producción? ¿Por qué si?, ¿Por qué no?*

No se pudo lograr cubrir la orden de producción el las fechas establecidas debido a que se produjeron muchos problemas en la estación 3 y no fueron solucionada a tiempo.

*¿Qué acciones utilizaría para cumplir con la orden de producción?*

Se podría poner un tiempo de respaldo antes de entregar el pedido en caso de sufrir otro retraso, aunque esto ocasione más gastos.

Otra solución podrá ser la que se expuso en el análisis del control de la producción, anexar otro operario en la estación 3 y disminuir el tiempo que tarda en realizar sus operaciones o una nueva redistribución del trabajo en las estaciones.

*Al controlar las entradas y salidas del almacén, ¿se utilizo todo el material de este?, ¿falta material?, ¿sobre material? Explique se repuesta.*

Al controlar las salidas y entradas de materia se permite que en las estaciones de trabajo siempre canten con el materia necesario para realizar el ensamblé requerido.

## ***8. Conclusiones de la práctica.***

Para controlar la producción desde la llegada de la materia prima hasta el producto terminado, es necesario tener controles de información, simples pero eficientes que permitan al personal competente resolver los errores lo más rápido posible y evitar se vuelva a presentar.

## *Capítulo 3.*

### *“Análisis de la Producción”*

#### *Práctica número 3.*

*Duración de la práctica: 2 sesiones.*

#### **1. Objetivo.**

Al finalizar esta práctica el estudiante será capaz de realizar un análisis del estado y del comportamiento de la producción, mediante diversas herramientas estadísticas.

#### **2. Introducción.**

El análisis de la producción se encarga de realizar el estudio, donde, a través de herramientas y técnicas, se analizan las características productivas de la empresa, así como el personal que trabaja, la maquinaria y materias primas que se utilizan, además de los métodos de trabajo que, entre otros factores, pudieran estar afectando la productividad de la entidad y por tanto que la misma obtenga menos beneficios.

El objetivo principal de este análisis es la detección de aquellos factores que frenan el desarrollo de la empresa, de los que favorecen en la productividad de la misma; así como la calidad de sus productos, contribuyendo de este modo al aumento de sus beneficios.

Las principales ventajas de realizar este estudio y gestionar adecuadamente dichos factores son:

- Optimizar la calidad de los productos.
- Reducir los costes de producción.
- Optimizar el aprovechamiento de la empresa.
- Tomar decisiones adecuadas en relación con las bases del diseño de los procesos, la planificación de éstos, y la elección de las alternativas tecnológicas correctas.
- Maximizar el servicio al cliente (minimizando los plazos de entrega).
- Minimizar inversión (manejo de stocks y tecnología).
- Fabricación eficiente (con bajos costes).

Para medir la producción se hacen uso de diversos indicadores, de los cuales, los más importantes son:

- Eficiencia.
- Distribución del tiempo del operario y/o maquina.
- Porcentaje defectuoso.
- Control estadístico de la calidad.
- Costos de producción.
- Cantidad económica de producción.

### ***3. Mobiliario y equipo utilizado en la práctica.***

- Cronometro.
- Estación de trabajo. El diagrama de la estación se ilustra en la figura 1.1.
- Robot o helicóptero de juguete.
- Línea de ensamble azul. El diagrama de la línea de ensamble se ilustra en la figura 1.4.
- Estante de madera. El diagrama del estante se ilustra en la figura 1.2.

### ***4. Marco teórico de la práctica.***

El control y análisis de la producción consiste en la medición del desempeño de la gestión de los procesos productivos, con el fin de saber si ésta es la adecuada y saber qué tan cerca se esta de los objetivos propuestos, para que, en caso de haber una desviación, tomar las medidas correctivas.

Para medir la gestión de la producción se hacen uso de indicadores, de los cuales los más importantes son:

- Eficiencia de la línea (E).
- Producto defectuoso (P).
- Control estadístico de calidad.
- Costo de unitario de producción o de producto (CPD).

#### 4.1. *Eficiencia de la línea (E).*

Este indicador mide la discrepancia o variación que existe entre la producción estándar o ideal, y la producción actual o real, lo que permite ver en forma globalizada el estado de la línea de producción.

La formula para calcular la eficiencia de línea es:

$$E = \frac{Tc_{ideal}}{Tc_{real}}$$

Donde:

E: Es la eficiencia de la línea.

T<sub>cideal</sub>: Es el tiempo establecido para realizar un producto completamente.

T<sub>creal</sub>: Es el tempo real para realizar un producto completamente.

#### 4.2. *Producto defectuoso (P).*

Este indicador mide el porcentaje de los productos defectuosos con respecto a la producción, ya sea diaria, mensual o anual. Estos defectos pueden deberse principalmente a:

- Desperfectos de la materia prima.
- Mal uso de la capacidad instalada.
- Ineficiencia de la mano de obra.
- Ineficiencia del proceso.

La fórmula para hallar el porcentaje del producto defectuoso es:

$$P = \frac{TF}{Pd} (100)$$

Donde:

P= Es la cantidad de productos defectuosos.

TF= Es el total de defectos en una jornada laboral.

Pd= Es la producción durante una jornada laboral.

### 4.3. *Control estadístico de la calidad.*

El control estadístico de la calidad se puede entender mediante dos enfoques:

- Es un instrumento técnico y estadístico para controlar las desviaciones de la característica a medir, para lo que se puede utilizar diversas técnicas, como se explicará brevemente más adelante.
- En un instrumentó de gestión destinado a influir en las actitudes con el fin de, que las diversas personas o grupos de la organización se comprometan a procurar alcanzar y mantener una mejora de la calidad.

A este ultimo concepto se la designa como “*control de la calidad total*”.

El enfoque del control de la calidad se basa principalmente en el empleo del análisis estadístico para medir las desviaciones de ciertas especificaciones. Esta es la razón por que, al control de la calidad se le designa a veces como “*control estadístico de la calidad*”. Aunque este enfoque sigue empleándose como base para medir las normas de calidad, en los últimos quince años *Taguchi* ha elaborado un nuevo enfoque de la calidad que representa un paso adelante a este control, hacia una mejora de la calidad en lugar de la simple medición estadística y la adopción de medidas correctivas.

El control estadístico de la calidad se puede dividir en *muestreo de aceptación* y *control del proceso*. El muestreo de aceptación implica inspeccionar una muestra de bienes existentes y decidir si se acepta el lote completo con base en la calidad de la muestra aleatoria. El control estadístico del proceso, implica inspeccionar una muestra aleatoria de la producción dentro de un proceso, para determinar si el proceso esta produciendo los bienes o servicios dentro de un rango preseleccionado. Cuando la producción inspeccionada se sale de rango, es señal de que hay que ajustar el proceso de producción para que los productos vuelvan a estar dentro del rango aceptable, esto se logra ajustando el proceso mismo.

Al elevar el nivel de las normas de calidad, se podría incrementar la satisfacción de los consumidores pero hasta cierto punto, ya que alcanzar normas más elevadas de calidad no representará una gran diferencia para el consumidor promedio. Sin embargo, el costo seguirá aumentando de manera acelerada a medida de que se trate de alcanzar niveles superiores de calidad.

El control estadístico de calidad tradicional abarca las siguientes etapas:

- 1) Determinar la característica de la calidad que se desea medir, esta puede ser el peso, longitud, diámetro, densidad, humedad, etc.

- 2) Establecer los niveles de calidad para la característica seleccionada. Esto dependerá del nivel de aceptación de los consumidores o de los usuarios.
- 3) Decidir el nivel de tolerancia aceptado.
- 4) Decidir el método de muestreo que se va a utilizar para poner a prueba la calidad. La inspección de todos los productos podría no ser posible en todos los casos.
- 5) Establecer las herramientas estadísticas para medir la desviación de los niveles de tolerancia.

### 4.3.1 *Muestreo de aceptación*

El muestreo de aceptación se realiza en bienes que ya existen, con el fin de determinar el porcentaje de productos fabricados de acuerdo con las especificaciones. Estos productos pueden ser artículos recibidos de otra compañía y evaluados por el departamento de recepción, o pueden ser componentes que has experimentado un procesamiento y son evaluados por el personal de la compañía.

El propósito de un plan de muestreo es inspeccionar el lote para determinar su calidad o garantizar que la calidad es lo que se supone debe ser.

### 4.3.2 *Procedimientos de control del proceso*

El control del proceso se refiere a la supervisión de la calidad mientras se esta produciendo el bien o servicio. Los objetivos usuales de los planes de control del proceso son suministrar información sobre el hecho de los bienes o servicios que se están produciendo en ese momento cumplen con las especificaciones de diseño y detectar cambios en el proceso que indiquen que posiblemente los productos futuros no van a cumplir con dichas especificaciones. La fase de control real del proceso ocurre cuando se toma acción correctiva, estos procedimientos se llevan a cabo mediante las siguientes herramientas:

- Diagrama de Pareto.
- Diagrama causa y efecto.
- Histogramas.
- Diagramas de dispersión.
- Diagramas de control o cartas de control ( $\bar{X}$ , R y P).
- Método Taguchi.

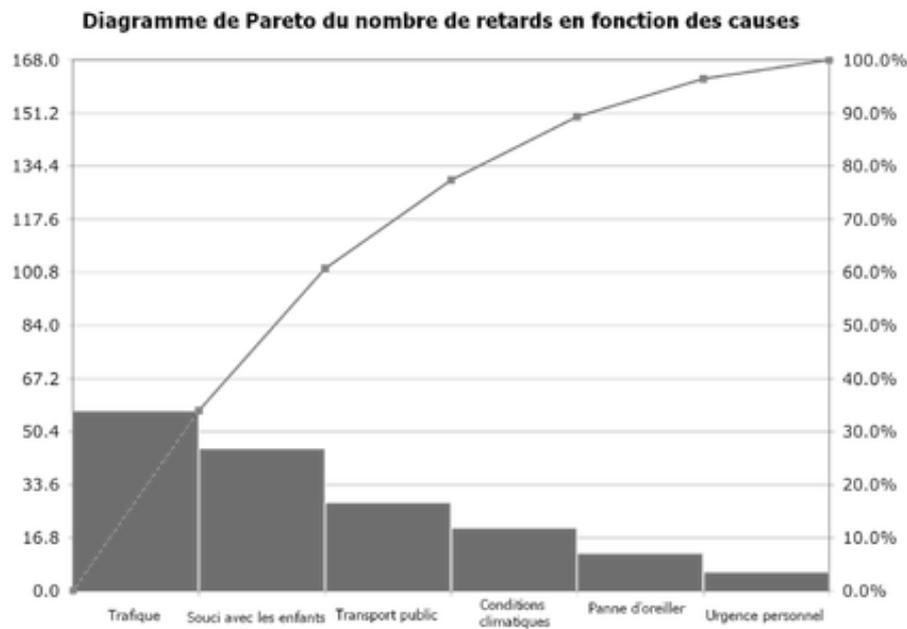
### 4.3.2.1. *Diagrama de Pareto*

Mediante el Diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves. Ya que por lo general, el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los elementos.

La minoría vital aparece a la izquierda de la grafica y la mayoría útil a la derecha. Hay veces que es necesario combinar elementos de la mayoría útil en una sola clasificación denominada otros, la cual siempre deberá ser colocada en el extremo derecho. La escala vertical es para el costo en unidades monetarias, frecuencia o porcentaje.

La gráfica es muy útil al permitir identificar visualmente en una sola revisión tales minorías de características vitales a las que es importante prestar atención y de esta manera utilizar todos los recursos necesarios para llevar acabo una acción correctiva sin malgastar esfuerzos.

Para aplicar el diagrama del Pareto en el control de calidad es necesario graficar la frecuencia de los defectos de producción en una grafica de barras que vaya de mayor a menor; la acumulación de estos errores se representan por una grafica lineal sobre las barras. De esta manera, se puede averiguar cual de los artículos o proceso es el factor más influyente y su grado de repercusión en los resultados finales. Se muestra un ejemplo en la figura 3.1.



**Figura 3.1. Diagrama de Pareto.**

*Uso del diagrama de Pareto*

- 1) *Para determinar cual defecto causa el problema.* Si hay muchos defectos, solo unos son influyentes.
- 2) *Para investigar el error.* Existen dos maneras de clasificar el error. La primera clasificación es en términos de resultados como defectos de producción, localización del suceso, pasos en que se produce, etc. La segunda clasificación es en términos de causas como defectos en materiales, maquinaria, instrumentos, métodos de trabajo, trabajadores, etc. Los puntos del problema se identifican por medio de la clasificación de resultados y luego para conocer sus causas se pasan al diagrama de Pareto.
- 3) *Para reportar y registrar en archivo.* El diagrama de Pareto es más sencillo y conveniente que la tabla de números para formar el cuadro completo del problema. Cuando antes y después de haber tomado acción se ha hecho un diagrama de Pareto, los efectos son claramente visibles.

### 4.3.2.2. Diagrama de causa y efecto.

En este diagrama refleja en un plano todo aquello que contribuye al problema, su gran ventaja es que queda por escrito todo aquello que en muchas ocasiones se piensa, pero se olvida. En este diagrama se muestra como las causas se relacionan con los efectos. Se ilustra un ejemplo en la figura 3.2.

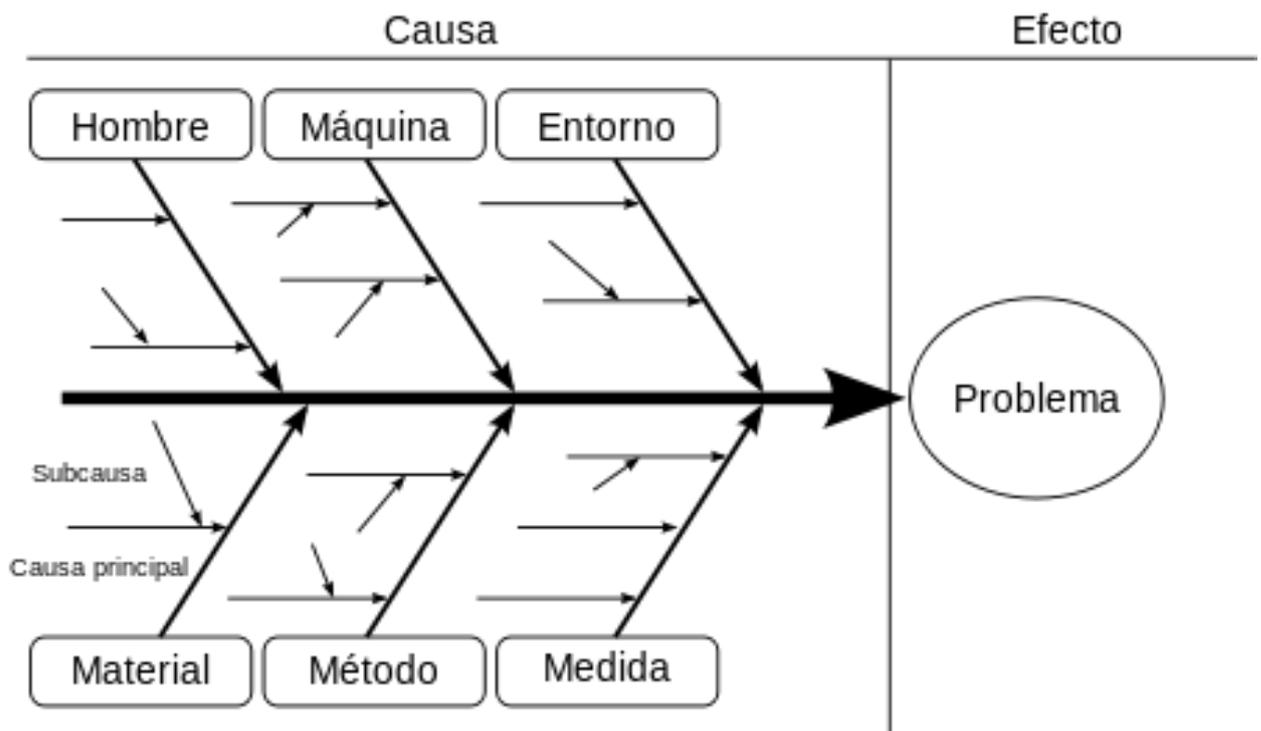


Figura 3.2. Diagrama causa y efecto.

#### Usos del diagrama causa y efecto

- 1) *Para tomar datos estadísticos de las causas de reclamos y de artículos defectuosos.* Cuando hay reclamaciones y se encuentran artículos defectuosos, las causas deben ser discutidas y debe dibujarse un diagrama causa y efecto. En este diagrama se examina cada causa con cuidado, para luego determinar que acciones se van a tomar primeramente.
- 2) *Para establecer las medidas de mejoramiento.* Los métodos para mejorar la calidad y eficiencia deben ser proyectados en el diagrama causa y efecto, luego cada método se examina para determinar cual se usara primero.

### 4.3.2.3. *Histograma.*

Un histograma es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados. En el eje vertical se representan las frecuencias, y en el eje horizontal los valores de las variables, normalmente señalando las marcas de clase, es decir, la mitad del intervalo en el que están agrupados los datos.

Se utiliza cuando se estudia una variable, como franjas de edades o altura de la muestra, y, por comodidad, sus valores se agrupan en clases, es decir, valores continuos. En los casos en los que los datos son cualitativos (no-numéricos), es preferible un diagrama de sectores.

El histograma se usa para ver la distribución de datos obtenidos por mediciones tales como longitud, dureza, etc. Véase un ejemplo en la figura 3.3.

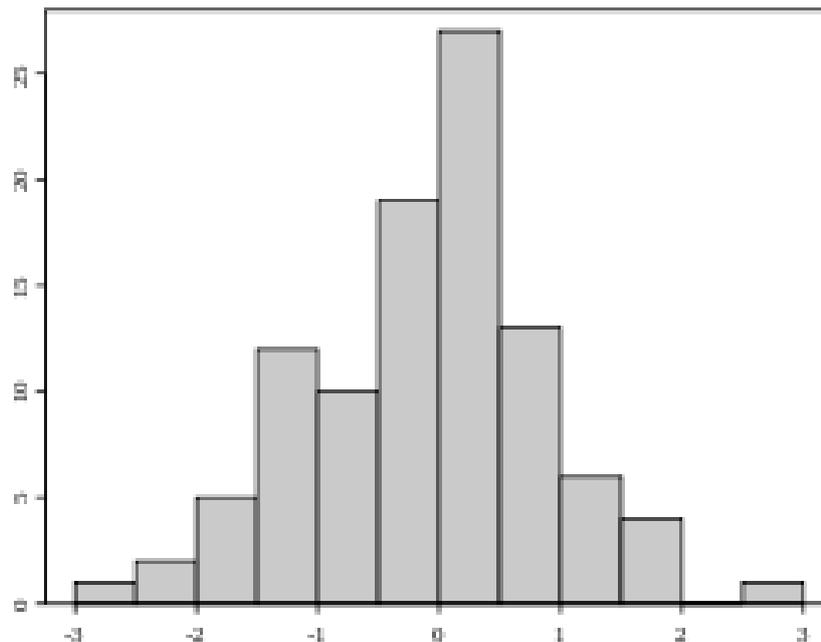
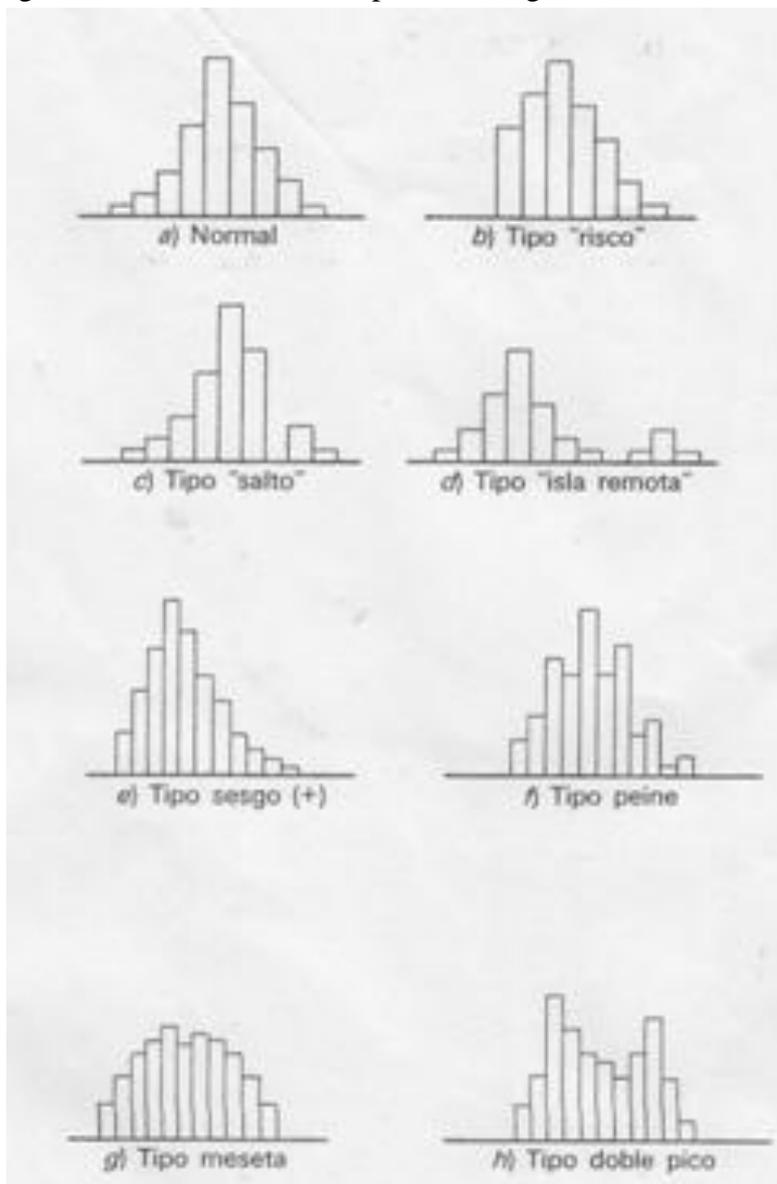


Figura 3.3. Histograma o diagrama de barras.

*Uso del histograma.*

- 1) *En la revisión del estado de la línea de producción.* Por la forma del histograma, se puede saber si el estado de la línea de producción es normal o anormal. En la siguiente figura muestra los diversos tipos de histogramas.



**Figura 3.4. Formas que adopta el histograma.**

- a) Tipo normal de forma simétrica. Los datos están distribuidos de manera normal; la media, la mediana y la moda se localizan al centro.
- b) Esta distribución indica que hay un tope natural o artificial en el valor izquierdo (o derecho). Esto sucede cuando una producción es revisada al 100% y se selecciona de ese límite hacia arriba (o hacia abajo).

- c) Esta es una forma que aparece cuando hay una pequeña adición de datos desde una distribución diferente, como en el caso de anomalía de procesos, errores de medición, o cuando se incluyen datos de otro proceso.
  - d) Mismas características que en inciso “C”.
  - e) Esta forma ocurre cuando el límite inferior (o superior) es controlado ya sea teóricamente o por un valor especificado o cuando los valores menores (o mayores) que un cierto valor no ocurren.
  - f) Esta forma ocurre cuando el número de datos incluido en la clase, varía de clase a clase o cuando hay una tendencia particular en la forma en que los datos se redondearon.
  - g) Esta forma ocurre cuando se mezclan varias distribuciones, cada una con diferentes valores medios.
  - h) Esta forma ocurre cuando se mezclan dos distribuciones con valores medios ampliamente diferentes.
- 2) *En la revisión de las lecturas para saber si estas cumplen con el rango permisible especificado.* Cuando las líneas de tolerancia superior o inferior están dibujadas en el histograma, se puede conocer el número de artículos defectuosos fuera del rango y esto ayudara a tomar acciones correctivas. En la siguiente figura se muestran algunos ejemplos.

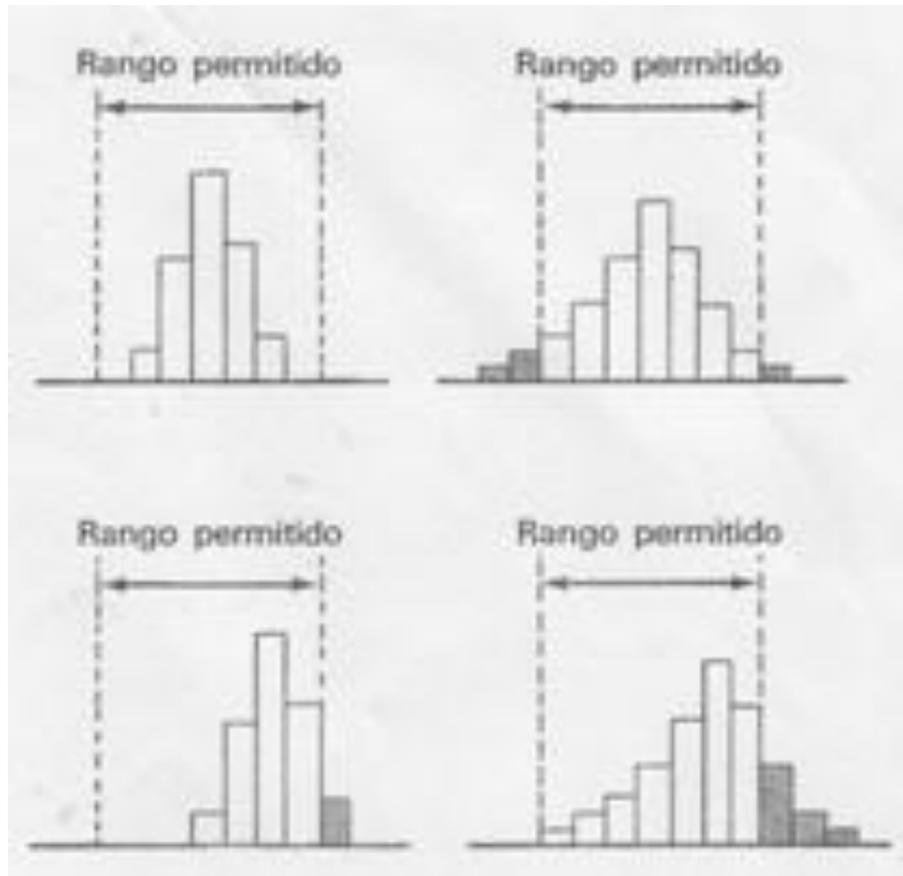


Figura 3.5. Rangos permitidos en los histogramas.

- 3) *Para examinar la desviación y dispersión de la distribución característica del producto en términos de cada parámetro.* Los histogramas para varios parámetros han de ser dibujados para ver los efectos de estos en la desviación y la dispersión de la distribución de las características del producto. Los parámetros pueden ser material, equipo o maquinaria utilizada, método de trabajo, mano de obra, medio ambiente y el mercado. Por medio del histograma se puede decir cual parámetro es el más influyente en la dispersión/desviación.

#### 4.3.2.4. *Diagrama de dispersión.*

Se grafica con puntos de los valores de un par de artículos o características listados. La relación entre estos, se puede ver fácilmente. En el diagrama causa y efecto se puede ver la relación entre las causas y el efecto; en el diagrama de dispersión se puede ver la relación entre una y otra forma de efecto.

*Usos del diagrama de dispersión.*

- 1) *Para examinar la correlación entre los datos de un par de artículos.* Existen diferentes diagramas de dispersión. Estos diagramas se presentan en la figura 3.6.
  - a) Correlación positiva. Cuando el efecto A aumenta a medida que el efecto B también aumenta.
  - b) Correlación negativa. Cuando el efecto A aumenta a medida que el efecto B disminuye.
  - c) Sin correlación. Cuando el efecto A no tiene relación con el incremento o decremento con el efecto B.
- 2) *Para graficar diagramas de dispersión con base en parámetros, para conocer su influencia.* Se grafica el diagrama de dispersión con base en parámetros tales como material, maquinaria, método de trabajo, trabajador, etc. Para conocer sus efectos. Si se produce un diagrama con alguna peculiaridad en la dispersión, entonces se considera que el parámetro en cuestión tiene influencia en dicho efecto.

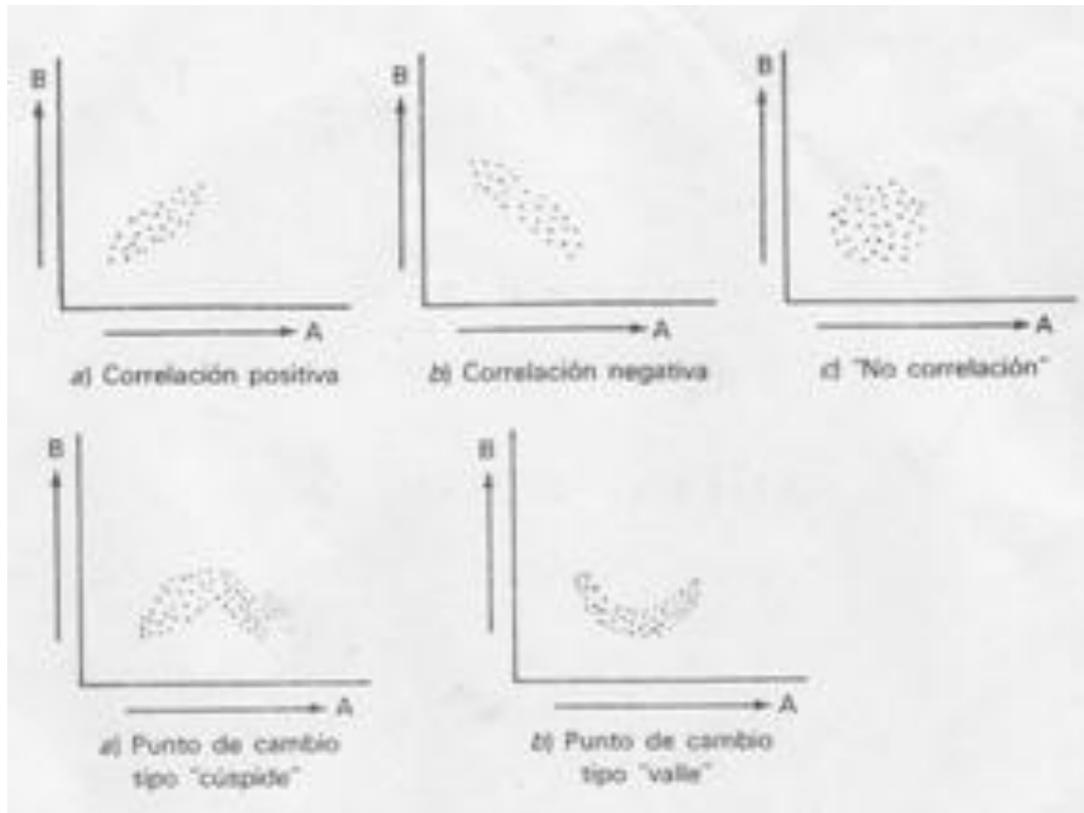


Figura 3.6. Ejemplos de diagramas de dispersión.

#### 4.3.2.5. Diagramas de control $\bar{X}$ , R y P.

Básicamente es un gráfico en el cual se representan los valores de algún tipo de medición realizada durante el funcionamiento de un proceso continuo, y que sirve para controlar dicho proceso.

*Usos del diagrama de control*

- 1) *Para examinar si el estado de producción es estable.* Si los puntos están dentro de las líneas límite y no se encuentran en un patrón espacial, puede decirse que la línea de producción está en un estado estable.

Existen los siguientes patrones especiales:

- a) Los puntos están a un lado:
    - Siete o más puntos sucesivos están en un lado.
    - Diez u once puntos sucesivos están a un lado.
    - Doce o más puntos entre catorce puntos sucesivos esta a un lado.
    - Catorce o más puntos entre diecisiete puntos sucesivos están en un lado.
    - Dieciséis o más puntos entre veinte puntos sucesivos están en un lado.
  - b) Los puntos están distribuidos hacia arriba o hacia abajo.
  - c) La localización de los puntos varían periódicamente.
  - d) Los puntos se encuentran a menudo en la proximidad de la línea central o la línea limite.
- 2) *Para controlar la calidad o las condiciones de producción.* Los diagramas más importantes se describen a continuación:
- a) Diagrama de control  $\bar{X}$ -R. se usa para controlar la calidad y las condiciones de producción con un conjunto de valores medidos en un rango “R” y con una media  $\bar{X}$  (usualmente cuatro o cinco veces).
  - b) Diagrama de control  $X$  (individual). Usado para controlar la calidad y las condiciones de producción con cada valor  $X$  medido.
  - c) Diagrama de control  $P$ . Usado para controlar la calidad y las condiciones de producción con el porcentaje de artículos defectuosos.
  - d) Diagrama de control  $Pn$ . Usado para controlar la calidad y las condiciones de producción con el numero de artículos defectuosos.
  - e) Diagrama de control  $C$ . Usado para controlar la calidad y las condiciones de producción con el número de artículos defectuosos en una unidad predeterminada o defectos por unidad.

### 4.3.2.5.1. *Elaboración del diagrama de control $\bar{X}$ -R*

Se explica a continuación los pasos a seguir para la construcción de un diagrama de control  $\bar{X}$ -R.

*Paso 1. Trazar el diagrama de control de datos preparatorios.*

1. Clasificar en varios grupos los artículos fabricados en las mismas condiciones (por ejemplo las mismas fechas).

Tomar cuatro o cinco muestras de cada grupo y tomar los datos de calidad respectivos. El número de grupos debe ser de 20 a 25. A estos datos se les denominan datos preparatorios.

2. Calcular la media de cada grupo.
3. Obtener la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo en cada grupo. A este valor se le denomina rango "R".
4. Trazar en una hoja cuadrículada el eje horizontal, para el número de grupos, y el eje vertical, para  $\bar{X}$  y R.
5. Colocar en el diagrama los valores para  $\bar{X}$  y R obtenidos en los puntos 2 y 3.
6. Calcular los valores para los límites de control en el diagrama de control  $\bar{X}$  por medio de las siguientes formulas y coeficientes según se enlistan en la tabla 3.1.

Límites de control para la carta  $\bar{X}$

*Límite de control superior (LCS):  $\bar{\bar{X}} + A_2(\bar{R})$*

*Límite de control inferior (LCI):  $\bar{\bar{X}} - A_2(\bar{R})$*

Tabla 3.1. Factores para determinar los límites de control  $3\sigma$  para diagramas  $\bar{x}$  y R.

Numero de observaciones en el grupo n	Factor para un diagrama ( $A_2$ )	Factores para un diagrama R	
		Limite inferior de control ( $D_3$ )	Limite superior de control ( $D_4$ )
2	1.88	0	3.27
3	1.02	0	2.57
4	0.73	0	2.28
5	0.58	0	2.11
6	0.48	0	2.00
7	0.42	0.08	1.92
8	0.37	0.14	1.86
9	0.34	0.18	1.82
10	0.31	0.22	1.78
11	0.29	0.26	1.74
12	0.27	0.28	1.72
13	0.25	0.31	1.69
14	0.24	0.33	1.67
15	0.22	0.35	1.65
16	0.21	0.36	1.64
17	0.20	0.38	1.62
18	0.19	0.39	1.61
19	0.19	0.40	1.60
20	0.18	0.41	1.59

7. Siguiendo el mismo procedimiento anterior, calcular los límites de control en el diagrama de control R, mediante las siguientes ecuaciones:

Límites de control para el rango (R).

Limite de control superior (LCS):  $D_4 \bar{R}$

Limite de control inferior (LCI):  $D_3 \bar{R}$

- Colocar en el diagrama de control los valores obtenidos para los límites de control en los puntos 6 y 7, utilizando líneas discontinuas.
- Examinar si los puntos colocados están dentro del rango permisible, entre, los límites de control superior e inferior. Si algunos puntos están fuera de los límites, entonces existe un error que no se debe pasarse por alto; debe ser examinado. Si un punto esta precisamente sobre la línea de control límite, se asume que esta fuera del límite.

*Paso 2. Se estudian los datos preparatorios y se comparan con el rango permisible específico.*

1. Examinar si los puntos colocados en el diagrama de control, según los pasos anteriores, están dentro del rango permisible especificado. Si todos los puntos están en el rango permisible, los límites de control no necesitan ser reconsiderados.
2. Si varios puntos de los datos preparatorios están fuera del rango permitido especificado, hay que examinar la causa del error y tomar acciones para prevenir el problema.
3. Se excluyen los puntos fuera del rango admitido para los cuales se encuentre solución y se vuelve a calcular los límites de control. Si no se puede encontrar la causa del error o si se conoce pero no se puede hallar la solución, se vuelve a calcular los límites de control incluyendo los puntos que no están dentro del rango.

Si algunos puntos que solían estar dentro del rango se salen de este cuando se vuelve a calcular los límites de control, se dejan como están y así se usan.

4. Elaborar un histograma con los valores que no fueron excluidos en los puntos 1 y 3, y comparar con el rango permitido especificado. Si todos los puntos están dentro del rango, no es necesario tomar acciones correctivas. Si algunos puntos están fuera del rango, se deben tomar acciones especiales de tal manera que la dispersión pueda hacerse menos.

Si la dispersión no puede ser disminuida por las acciones correctivas hay que cambiar el rango permitido o establecer un proceso de selección.

*Paso 3. Se controla la línea de producción.*

Cuando el diagrama de control ha sido comparado con las especificaciones, se usa para controlar la línea de producción de acuerdo a los siguientes pasos.

1. Colocar en la hoja del diagrama de control las líneas para los límites de control establecidos en los pasos anteriores.
2. Tomar muestras de la línea de producción y calcular la medida y el rango para cada grupo y colocarlas en el diagrama.
3. Si los puntos están dentro del rango especificado y no existe un patrón especial en la distribución de los puntos, entonces se puede concluir que el estado de la línea de producción es estable. Si algunos de ellos están fuera del rango y se observa un patrón especial, el diagnóstico sería que hay causas de error que no pueden ser pasadas por alto.

4. Encontrar las causas de error y tomar acciones correctivas.

Tomar acciones correctivas significa no solo que se debe resolver el problema presente, sino que se tomaran medidas preventivas para que no ocurra en el futuro.

*Paso 4. Se ajustan las líneas de control.*

Una vez que la línea de producción ha sido corregida y mejorada por el uso del diagrama de control, las líneas de control existentes pueden resultar demasiado elásticas para un mejoramiento futuro de la calidad en los productos. Si la línea de producción ha alcanzado este estado, se consideran los datos recientes como datos preparatorios y se produce a ajustar las líneas de control siguiendo los pasos antes enunciados.

#### **4.3.2.5.2. *Elaboración del diagrama de control P***

Este control emplea una sola decisión: el producto es bueno o malo. Como es una decisión de si o no, es posible utilizar estadísticas simples para elaborar este diagrama con sus respectivos límites de control. Estos límites de control se pueden dibujar en una grafica y luego trazar la fracción defectuosa de cada muestra individual tomada. Se presume que el proceso esta funcionando correctamente cuando las muestras, que se toman periódicamente durante el día, siguen estando dentro de los límites de control. Las ecuaciones presentadas a continuación son las requeridas por este diagrama para el cálculo de los límites de control.

$$\bar{P} = \frac{\text{número total de defectos en todas las muestras}}{(\text{número de muestras})(\text{tamaño de muestras})}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{\bar{P}(1 - \bar{P})}{n}}$$

$$UCL = \bar{P} + zS_p$$

$$LCL = \bar{P} - zS_p$$

Donde:

$\bar{P}$  : Es la fracción defectuosa

$S_p$ : Es la desviación con respecto al estándar.

$n$ : Es el tamaño de la muestra.

$z$ : Es el número de desviaciones estándar para una confianza específica.

Los niveles de que se utilizan comúnmente son:  $z=3$  (confianza de 99.7%) y  $z=2.58$  (confianza de 99%).

#### *Hoja de datos para la carta P.*

La hoja de datos proveerá toda la información necesaria para la total identificación del producto o servicio, de la operación, los procedimientos de inspección, la hoja de revisión y las características a ser revisadas.

La hoja de datos deberá ser un medio adecuado para registrar la información de inspección, de manera que esta se convierta en datos útiles.

Normalmente consiste en una columna donde se enlistan el número de defectos en cada muestra y una columna paralela para registrar, ya sea el porcentaje o la fracción de defectos.

En esta hoja se puede realizar análisis adicionales del número de defectos que se deben a cada una de las diferentes características. Esto suministra información útil cuando se requiere un cambio de proceso.

#### *La carta P.*

Esta carta deberá contener la misma información de identificación que se ha puesto en la hoja de datos. Esto proporcionará una carta que describe adecuadamente la operación completa.

La escala vertical deberá calibrarse a una escala adecuada que permitirá el registro de toda la información colectada anteriormente. El registro deberá hacerse sobre la carta y debe corresponder a los resultados de inspección para cada muestra. Los puntos adyacentes se unen con una línea recta continua para evitar que se pierda información.

***Ventajas de las cartas de control:***

- Es una herramienta simple y efectiva para lograr un control estadístico.
- El operario puede manejar las cartas en su propia área de trabajo, por lo cual puede dar información confiable a la gente cercana a la operación en el momento en que se deben de tomar ciertas acciones.
- Cuando un proceso está en control estadístico puede predecirse su desempeño respecto a las especificaciones. En consecuencia, tanto el productor como el cliente pueden contar con niveles consistentes de calidad y ambos pueden contar con costos estables para lograr ese nivel de calidad.
- Una vez que un proceso se encuentra en control estadístico, su comportamiento puede ser mejorado posteriormente reduciendo la variación.
- Al distinguir entre las causas especiales y las causas comunes de variación, es un buen indicador de cuándo un problema debe ser corregido localmente y cuando se requiere de una acción en la que deben de participar varios departamentos o niveles de la organización.

**4.3.2.6. Índice de capacidad ( $C_p$  y  $C_{pk}$ ).**

Un proceso es capaz en la medida en que tenga la habilidad de producir en forma predecible (el proceso debe estar en control estadístico) dentro de especificaciones. En este sentido la capacidad de proceso es un índice relativo, si para un producto se tienen varios clientes, y las especificaciones para cada una de ellos son diferentes, entonces la capacidad del proceso tendrá un valor diferente para cada uno de los clientes.

La capacidad potencial del proceso se define como:

$$C_p = \frac{LCS - LCI}{6\sigma}$$

Es decir, la capacidad del proceso indica cuantas veces cabe la variación natural del proceso en el intervalo de especificación.

Cuando se habla de capacidad utilizando el índice  $C_p$ , no se debe olvidar que en realidad es un “traductor” de la cantidad del proceso en términos de porcentaje de producto no conforme. En la tabla 3.2 se muestra la relación existente entre el índice  $C_p$  y la calidad del producto.

Tabla 3.2. Índice Cp y calidad del producto.

Índice Cp	Porcentaje fuera de tolerancia
0.5	13.361
0.6	7.186
0.7	3.573
0.8	1.639
0.9	0.693
1.0	0.270
1.1	0.097
1.2	0.032
1.3	0.0096
1.4	0.0027
1.5	0.0007
1.6	0.00016
1.7	0.00003
1.8	0.0000067
1.9	0.0000012
2.0	0.0000002

El índice de capacidad ( $C_{pk}$ ) indica el desempeño real del proceso, ya que este considera la posición que tiene el promedio del proceso con respecto a las especificaciones. Es decir, muestra que tan bien las piezas que se producen, se ajustan dentro del rango especificado por los límites de diseño. Si los límites de diseño son superiores a  $3\sigma$ , permitido en el proceso, entonces se puede decir que la medida del proceso se desplaza fuera del centro antes del reajuste, y se seguirá produciendo un alto porcentaje de piezas buenas.

Este índice es la posición de la media y de los extremos del proceso con relación a las especificaciones del diseño. Cuanto más se aleje del centro, mayor será la posibilidad de producir piezas defectuosas.

Como la media del proceso puede moverse en cualquier dirección, la dirección del desplazamiento y su distancia con respecto a la especificación de diseño establecen el límite de la capacidad del proceso. La dirección del desplazamiento es hacia el número más pequeño.

En su expresión formal, el índice de capacidad ( $C_{pk}$ ) se calcula como el número más pequeño, como sigue:

$$C_{pk} = \min \left[ \frac{\bar{X} - LCI}{3\sigma} \text{ o } \frac{LCS - \bar{X}}{3\sigma} \right]$$

Comúnmente para considerar un proceso esta bajo control, el  $C_{pk}$  debe de estar en los siguientes intervalos:

- $C_{pk} \geq 1.33$ : suficientemente satisfactorio.
- $1.00 \leq C_{pk} \leq 1.33$ : adecuado.
- $C_{pk} \leq 1.00$ : inadecuado.

#### 4.3.2.7. *Método Taguchi.*

Los métodos tradicionales de control de la calidad se centran en la determinación de un valor medio (u objetivo) para un atributo y el establecimiento de límites de control; para luego realizar un control estadístico y descartar o retrabajar las piezas que se encuentren por fuera de estos límites. Este enfoque toma como premisa controlar el valor medio y ve a la variabilidad (o varianza) como un dato del proceso.

El Ing. Genichi Taguchi propuso otro enfoque en el que se empieza a pensar en la calidad del producto desde el diseño del mismo. El objetivo es diseñar productos menos sensibles a los factores aleatorios (o ruidos) que hacen que varíen los parámetros que definen su calidad. Esto es lo que se llama “crear un diseño robusto”.

Para esto definió un proceso de diseño de producto (y proceso de fabricación) en tres etapas:

### *1- Diseño del sistema*

Es una etapa conceptual en la que se determinan las características generales, parámetros a tener en cuenta, objetivos, etc.

### *2- Diseño de parámetros*

Una vez establecido el concepto comienza la etapa de ingeniería de detalle, en la que se definen los parámetros del producto: dimensiones, especificaciones, materiales, etc. En esta etapa, un análisis permite establecer parámetros que minimicen los efectos de la variabilidad en el proceso, medio ambiente y manipulación durante la fabricación del producto.

En esta etapa se pueden realizar una serie de experimentos estadísticos que ayuden a medir la sensibilidad de los parámetros que pueden presentar variaciones en el proceso o los denominados ruidos.

### *3- Diseño de tolerancias*

Completado el diseño de parámetros, y con una real comprensión de los efectos de cada uno de los parámetros durante la fabricación del producto. Se puede centrar la atención en unos pocos parámetros clave, sobre los que se trabajará en obtener tolerancias más estrechas.

### *Filosofía de la calidad de Taguchi*

- 1) Un aspecto importante de la calidad de un producto manufacturado es la pérdida total generada por ese producto a la sociedad.
- 2) En una economía competitiva, el mejoramiento continuo de la calidad y la reducción de los costes son imprescindibles para subsistir en la industria.
- 3) Un programa de mejoramiento continuo de la calidad incluye una incesante reducción en la variación de las características del proceso o producto con respecto a sus valores objetivos.
- 4) La pérdida del consumidor originada en una variación del proceso del producto, es casi siempre proporcional al cuadrado de la desviación de las características del proceso con respecto a su valor objetivo. Por eso, la medida de la calidad se reduce rápidamente con una gran desviación del objetivo.

- 5) La calidad y el costo final de un producto manufacturado están determinados en gran medida por el diseño industrial del producto y su proceso de fabricación.
- 6) Una variación del proceso se puede reducir aprovechando los efectos no lineales de los parámetros del producto sobre las características de proceso.
- 7) Los experimentos estadísticamente planificados se pueden utilizar para determinar los parámetros del producto que reducen la variación del proceso.

#### *Control de la Calidad “en la línea” y “fuera de la línea” (on-line y off-line)*

Los métodos de Taguchi para el control de la calidad dentro y fuera de la línea, representan una propuesta original para reducir la variación del producto. Los métodos “on-line” comprenden diferentes técnicas para mantener los valores-objetivo y la variación con respecto al objetivo en una planta industrial. En estas técnicas se utilizan cuadros de control estadístico. No obstante, han sido las técnicas del control de calidad “off-line” las que han distinguido los métodos de Taguchi. El control de calidad “off-line” involucra a la función de diseño o de ingeniería de calidad y consiste de tres componentes:

1. *Diseño del sistema.* El diseño del sistema es la selección y diseño de un producto que satisfaga los requerimientos del consumidor. El diseño debe ser funcional y estable frente a los cambios en las condiciones ambientales durante el servicio. El producto debe tener una variación mínima y proporcionar el mayor valor para el precio. Asimismo, debería experimentar una variación funcional mínima, a causa de factores como el uso. En ese sentido, se emplean diferentes métodos para determinar los requerimientos del consumidor y traducirlos en términos técnicos. Los métodos del “despliegue de la función de calidad” así como la “función de pérdida” se utilizan a menudo en la planificación del sistema.
2. *Identificación de los parámetros.* Es la identificación de las variables clave del proceso que afectan la variación del producto, y la definición de los niveles parámetro que producirán la menor cantidad de variación en el funcionamiento del producto. Eso se logra mediante el uso de diseños estadísticos experimentales. Los métodos de Taguchi se diferencian del diseño experimental clásico por el hecho de que Taguchi utiliza sólo una pequeña parte de todas las combinaciones experimentales posibles, y selecciona las condiciones “adecuadas” de una manera muy eficiente.

3. *Determinación de la tolerancia.* Consiste en la determinación de cuáles son los factores que más contribuyen a eliminar la variación del producto, y en la determinación de los niveles de tolerancia apropiados en el producto final, a fin de cumplir con las especificaciones. La determinación de la tolerancia se utiliza solamente cuando la variabilidad del producto no está limitada a un cierto nivel de tolerancia. La ventaja de estos métodos es la eficiencia; en lugar de ajustar las tolerancias en general, sólo se ajustan aquellas que tendrán el mayor impacto.

Estas tres funciones pueden ser consideradas como una definición de la calidad, de la ingeniería del diseño de calidad y de la ingeniería del proceso de producción. El enfoque tradicional ha sido diseñar un producto en forma más o menos independiente de los procesos industriales, y luego intentar reducir la variabilidad en dichos procesos a fin de mejorar la calidad del producto. Los métodos de Taguchi procuran diseñar productos que sean estables frente a las variaciones en el proceso de fabricación.

Eso hace necesario analizar dos variables que pueden afectar el proceso del producto: los parámetros de diseño y la perturbación. Los parámetros de diseño pueden ser seleccionados por el ingeniero. Tales parámetros conforman una especificación de diseño. La perturbación consiste en todas esas variables que hacen que el parámetro de diseño se desvíe de su valor objetivo. Poco importa que esas causas de falla sean imputables. La perturbación que puede ser identificada debería incluirse como un elemento en el experimento. Las perturbaciones externas son causadas por factores como la variación en las condiciones operativas y los errores humanos. Las perturbaciones internas se originan en factores como el deterioro. Las fallas “intermedias” (o inherentes al producto) son consecuencias de las imperfecciones en el proceso de fabricación. Las fallas externas e internas se pueden controlar a través de métodos “off-line”, como la identificación de parámetros. Las fallas inherentes al producto, mediante técnicas “on-line” y “off-line”.

El propósito del experimento es identificar los parámetros en los cuales los efectos de las fallas sean mínimos. La determinación óptima de los parámetros de diseño se puede efectuar a través del desarrollo de una matriz de parámetros de diseño y una matriz de perturbaciones o fallas. Se sugieren los ordenamientos ortogonales para construir dichas matrices. Esos ordenamientos se utilizan circunstancialmente para determinar los elementos estadísticos del proceso.

Si bien estas técnicas han dado resultado, su aplicación ha sido algo controvertida, y exige la intervención de un especialista en estadística. A pesar de la aparente complejidad técnica, la metodología del diseño de experimentos proporciona una firme estructura sobre la cual basar la calidad y las determinaciones de la posibilidad de producción. De acuerdo con Raghu Kachar (un defensor y divulgador del método

Taguchi), los cuatro principales motivos para utilizar los experimentos industriales estadísticamente planificados son:

- 1) Identificar los parámetros de diseño con los cuales el efecto de fuente de perturbación sobre las características del proceso se reducen al mínimo.
- 2) Identificar los parámetros de diseño que reducen el costo sin afectar la calidad.
- 3) Identificar los parámetros que tienen una gran influencia sobre el valor medio de la característica del proceso, pero no tienen ningún efecto sobre su variación.
- 4) Identificar los parámetros que tienen influencia detectable sobre las características del proceso y sobre los cuales se pueden rebajar los niveles de tolerancia.

#### **4.4. *Costo unitario de producción o de producto (CPD).***

Los costos de producción (también llamados costos de operación) son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento. En una compañía estándar, la diferencia entre el ingreso (por ventas y otras entradas) y el costo de producción indica el beneficio bruto.

Esto significa que el destino económico de una empresa está asociado con: el ingreso (por ej., los bienes vendidos en el mercado y el precio obtenido) y el costo de producción de los bienes vendidos. Mientras que el ingreso, particularmente el ingreso por ventas, está asociado al sector de comercialización de la empresa, el costo de producción está estrechamente relacionado con el sector tecnológico.

El costo de producción tiene dos características opuestas, la primera es que para producir bienes uno debe gastar; esto significa generar un costo. La segunda característica es que los costos deberían ser mantenidos tan bajos como sea posible y eliminados los innecesarios. Esto no significa el corte o la eliminación de los costos indiscriminadamente.

Otros aspectos entendidos como "costos" a ser eliminados (por ej., programas de seguridad de la planta, capacitación de personal, investigación y desarrollo), los costos para proteger el medio ambiente (por ej., el tratamiento de efluentes) son en forma frecuente ignorados y, en consecuencia, transferidos a la comunidad en el largo plazo o para futuras generaciones.

Cuando se analiza la importancia dada al costo de producción otro aspecto que debería ser examinado respecto a una determinada estructura de costos, es que una variación en el precio de venta tendrá un impacto inmediato sobre el beneficio bruto porque éste último es el balance entre el ingreso (principalmente por ventas) y el costo de producción. En consecuencia, los incrementos o las variaciones en el precio de venta,

con frecuencia son percibidos como la variable más importante (junto con el costo de la materia prima), particularmente cuando existen amplias variaciones del precio.

### *Tipos de costos*

*Materia prima.* Este rubro está integrado por las materias primas principales y subsidiarias que intervienen directa o indirectamente en los procesos de transformación, ya que la característica esencial de esta actividad es manufacturera.

La estimación de este rubro podrá llevarse a cabo mediante el conocimiento de los siguientes elementos de juicio:

- Cantidades de materia primas requeridas para elaborar una unidad de producto.
- Precios unitarios de las materias primas puestas en fábrica.

*Mano de obra directa.* Este rubro incluye los sueldos de los obreros y/o empleados cuyos esfuerzos están directamente asociados al producto elaborado. Este rubro representa menos del 10% del costo de producción, pero en operaciones donde se necesita mucha manipulación manual puede llegar a superar el 25%.

Las dos variables que regulan este rubro son: costo de la hora-hombre u hombre-año y número de horas-hombre o número de hombres/mujeres requerido. Al costo básico de la hora-hombre que se estima de acuerdo a los convenios laborales vigentes, deberán adicionarse las cargas sociales que normalmente están a cargo del empleador.

*Costos administrativos.* En este rubro incluye los sueldos del personal de la empresa fuera del área de producción, así como los costos de:

- Alquiler
- Servicios públicos
- Transporte de personal
- Publicidad
- Mantenimiento
- Impuestos
- Depreciación de mobiliario y equipo
- Seguro.

Para calcular los costos de producción y rentabilidad se hace uso de las siguientes ecuaciones:

Costo de producción:

$$CPD = CDP + CMO + CAD$$

Costo unitario (CU):

$$CU = \frac{CPD}{UP}$$

Costo primo (CP):

$$CP = CDP + CMO$$

Precio de venta (PV):

$$PV = \frac{CU}{1-(utilidad)}$$

Donde:

CPD: Es el costo por materia prima.

CMO: Es el costo de mano de obra.

CAD: Son los costos administrativos.

UP: Son las unidades producidas

## 5. Cuestionario introductorio.

### *¿A que se refiere con costos de producción?*

Los costos de producción se refieren a la Valoración monetaria de los gastos incurridos y aplicados en la obtención de un bien. Incluye el costo de los materiales, mano de obra y los gastos indirectos de fabricación cargados a los trabajos en su proceso. Se define como el valor de los insumos que requieren las unidades económicas para realizar su producción de bienes y servicios; se consideran aquí los pagos a los factores de la producción: al capital, constituido por los pagos al empresario (intereses, utilidades, etc.), al trabajo, pagos de sueldos, salarios y prestaciones a obreros y empleados así como también los bienes y servicios consumidos en el proceso productivo (materias primas, combustibles, energía eléctrica, servicios, etc.).

### *Defina calidad*

Calidad es el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren la capacidad de satisfacer necesidades, gustos o preferencias, y de cumplir con expectativas en el consumidor. Tales propiedades o características podrían estar referidas a los insumos utilizados, el diseño, la presentación, la estética, la conservación, la durabilidad, el servicio al cliente, el servicio de postventa, etc.

### *¿A que se refiere con control estadístico de la calidad?*

Es el empleo del análisis estadístico para medir las desviaciones de ciertas especificaciones determinadas.

### *¿Cuáles son las herramientas estadísticas para realizar un control estadístico de la producción?*

- Diagrama de Pareto.
- Diagrama de causa y efecto.
- Histograma.
- Diagramas de dispersión.
- Diagrama de control o carta de control
- Grafica lineal
- Hoja de revisión o evaluación (*check list*)

### *¿Qué es el método taguchi?*

Los métodos tradicionales de control de la calidad se centran en la determinación de un valor medio (u objetivo) para un atributo y el establecimiento de límites de control; para luego realizar un control estadístico y descartar o retrabajar las piezas que se encuentren por fuera de estos límites. Este enfoque toma como premisa controla el valor medio y ve a la variabilidad (o varianza) como un dato del proceso.

## ***6. Desarrollo de la práctica.***

Con la información obtenida de las prácticas anteriores, se analizará el estado de la producción de la línea de ensamble “azul” y la rentabilidad de esta. Para ello se evaluarán los siguientes aspectos:

- Eficiencia.
- Porcentaje defectuoso.
- Control estadístico de la calidad.
- Costos de producción.

### ***6.1 Calculo de la eficiencia de la línea.***

Este indicador mide la discrepancia o variación que existe entre la producción estándar o ideal, y la producción actual o real.

La formula para calcularla es:

$$E = \frac{Tc_{ideal}}{Tc_{real}} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

E: Es la eficiencia de la línea.

Tc<sub>ideal</sub>: Es el tiempo establecido para realizar un producto completamente.

Tc<sub>real</sub>: Es el tiempo real para realizar un producto completamente.

Utilizando la ecuación 3.1 y los tiempos por estación de las tablas 1.10 y 1.12, se calcula la eficiencia de la línea de ensamble “azul”.

$$E = \frac{207.48s}{213.60s} (100)$$

$$E = 97.18\%$$

## 6.2. *Calculo del porcentaje de defectos y productos defectuosos.*

Este indicador mide el porcentaje de los productos defectuosos con respecto a la producción, ya sea diaria, mensual o anual. Estos defectos pueden deberse principalmente a:

- Desperfectos en los materiales.
- Mal uso de la capacidad instalada.
- Ineficiencia de la mano de obra.
- Ineficiencia de mediciones, controles, etc.

La fórmula para hallar el porcentaje del producto defectuoso es:

$$P = \frac{TF}{Pd} (100) \quad \text{Ec 3.2}$$

Donde:

P= Es la cantidad de productos defectuosos.

TF= Es el total de defectos durante el estudio.

Pd= Es la producción durante el estudio.

Utilizando la ecuación 3.2 y la información proporcionada en la figura 2.21 (reporte de trabajo), se calcula la cantidad de defectos que se obtuvieron en la línea de ensamble “azul”.

$$P = \frac{68}{80} (100)$$

$$P = 85\%$$

### 6.3. Control estadístico de calidad.

- **Nota:** En el control estadístico de la calidad de esta práctica, la característica a estudiar será el tiempo que se realiza cada ensamble dentro de la estación de trabajo; esto se debe a que las piezas no tiene otra característica para ser analizada.

Para realizar esta parte de la práctica se tomara en cuenta las muestras de tiempos que se obtuvieron durante la práctica 1.

#### 6.3.1. Elaboración del diagrama de control $\bar{X}$ -R.

Se explica a continuación los pasos a seguir para la construcción de un diagrama de control  $\bar{X}$ -R.

*Paso 1. Trazar el diagrama de control de datos preparatorios.*

1. Clasificar en varios grupos los artículos fabricados en las mismas condiciones (por ejemplo las mismas fechas).

Tomar cuatro o cinco muestras de cada grupo y tomar los datos de calidad respectivos. El número de grupos debe ser de 20 a 25. A estos datos se les denominan datos preparatorios.

2. Calcular la media de cada grupo.
3. Obtener la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo en cada grupo. A este valor se le denomina rango "R".
4. Trazar en una hoja cuadrículada el eje horizontal, para el numero de grupos, y el eje vertical, para  $\bar{X}$  y R.
5. Colocar en el diagrama los valores para  $\bar{X}$  y R obtenidos en los puntos 2 y 3.
6. Calcular los valores para los limites de control en el diagrama de control  $\bar{X}$  por medio de las siguientes formulas y coeficientes según se enlistan en la tabla 3.1.

Limites de control para la carta  $\bar{X}$

$$\text{Limite de control superior (LCS): } \bar{\bar{X}} + A_2 (\bar{R}) \quad \text{Ec: 3.3}$$

$$\text{Limite de control inferior (LCI): } \bar{\bar{X}} - A_2 (\bar{R}) \quad \text{Ec: 3.4}$$

Limites de control para el rango (R).

Limite de control superior (LCS):  $D_4 \bar{R}$  Ec: 3.5

Limite de control inferior (LCI):  $D_3 \bar{R}$  Ec: 3.6

Tabla 3.1. Factores para determinar los limites de control tres sigma para diagramas  $\bar{x}$  y R.

Numero de observaciones en el grupo n	Factor para un diagrama ( $A_2$ )	Factores para un diagrama R	
		Limite inferior de control ( $D_3$ )	Limite superior de control ( $D_4$ )
2	1.88	0	3.27
3	1.02	0	2.57
4	0.73	0	2.28
5	0.58	0	2.11
6	0.48	0	2.00
7	0.42	0.08	1.92
8	0.37	0.14	1.86
9	0.34	0.18	1.82
10	0.31	0.22	1.78
11	0.29	0.26	1.74
12	0.27	0.28	1.72
13	0.25	0.31	1.69
14	0.24	0.33	1.67
15	0.22	0.35	1.65
16	0.21	0.36	1.64
17	0.20	0.38	1.62
18	0.19	0.39	1.61
19	0.19	0.40	1.60
20	0.18	0.41	1.59

7. Siguiendo el mismo procedimiento anterior, calcular los limites de control en el diagrama de control R, mediante las siguientes ecuaciones:
8. Colocar en el diagrama de control los valores obtenidos para los límites de control en los puntos 6 y 7, utilizando líneas discontinuas.
9. Examinar si los puntos colocados están dentro del rango permisible, entre, los límites de control superior e inferior. Si algunos puntos están fuera de los límites, entonces existe un error que no se debe pasarse por ato; debe ser examinado. Si un punto esta precisamente sobre la línea de control límite, se asume que esta fuera del límite.

*Paso 2. Se estudian los datos preparatorios y se comparan con el rango permisible específico.*

1. Examinar si los puntos colocados en el diagrama de control, según los pasos anteriores, están dentro del rango permisible especificado. Si todos los puntos están en el rango permisible, los límites de control no necesitan ser reconsiderados.
2. Si varios puntos de los datos preparatorios están fuera del rango permitido especificado, hay que examinar la causa de error para estos datos y tomar acciones para prevenir el problema.
3. Se excluyen los puntos fuera del rango admitido para los cuales se encuentre solución y se vuelve a calcular los límites de control. Si no se puede encontrar la causa de error o si se conoce pero no se puede hallar la solución, se vuelve a calcular los límites de control incluyendo los puntos que no están dentro del rango.

Si algunos puntos que solían estar dentro del rango se salen de este cuando se vuelve a calcular los límites de control, se dejan como están y así se usan.

4. Elaborar un histograma con los valores que no fueron excluidos en los puntos 1 y 3, y comparar con el rango permitido especificado. Si todos los puntos están dentro del rango, no es necesario tomar acciones correctivas. Si algunos puntos están fuera del rango, se deben tomar acciones especiales de tal manera que la dispersión pueda hacerse menos.

Si la dispersión no puede ser disminuida por las acciones correctivas hay que cambiar el rango permitido o establecer un proceso de selección.

*Paso 3. Se controla la línea de producción.*

Cuando el diagrama de control ha sido comparado con las especificaciones, se usa para controlar la línea de producción de acuerdo a los siguientes pasos.

1. Colocar en la hoja del diagrama de control las líneas para los límites de control establecidos en los pasos anteriores.
2. Tomar muestras de la línea de producción y calcular la medida y el rango para cada grupo y colocarlas en el diagrama.
3. Si los puntos están dentro del rango permitido especificado y no hay un patrón especial en la distribución de los puntos, entonces se puede concluir que el estado de la línea de producción es estable. Si algunos de ellos están fuera del rango y se observa un patrón especial, el diagnóstico sería que hay causas de error que no pueden ser pasadas por alto.

4. Encontrar las causas de error y tomar acciones correctivas.

Tomar acciones correctivas significa no solo que se debe resolver el problema presente, sino que se tomaran medidas preventivas para que no ocurra en el futuro.

*Paso 4. Se ajustan las líneas de control.*

Una vez que la línea de producción ha sido corregida y mejorada por e uso del diagrama de control, las líneas de control existentes pueden resultar demasiado elásticas para un mejoramiento futuro de la calidad de los productos. Si la línea de producción ha alcanzado este estado, se consideran los datos recientes como datos preparatorios y se produce a ajustar las líneas de control siguiendo los pasos antes enunciados.

### 6.3.2. *Elaboración del diagrama de control P.*

La medición por atributos emplea una sola decisión: el producto es buena o malo. Como es una decisión de si o no, es posible utilizar estadísticas simples para elaborar un diagrama *P* con sus respectivos limites de control. Estos límites de control se pueden dibujar en una grafica y luego trazar la fracción defectuosa de cada muestra individual tomada. Se presume que le proceso esta funcionando correctamente cuando las muestras, que se toman periódicamente durante el día, siguen estando dentro de los limites de control. Las presentadas a continuación son las requeridas por este diagrama para el cálculo de los límites de control.

$$\bar{P} = \frac{\text{número total de defectos en todas las muestras}}{(\text{número de muestras})(\text{tamaño de muestras})} \quad \text{Ec: 3.7}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} \quad \text{Ec: 3.8}$$

$$LCS = \bar{P} + zS_p \quad \text{Ec: 3.9}$$

$$LCI = \bar{P} - zS_p \quad \text{Ec: 3.10}$$

Donde:

$\bar{P}$  : Es la fracción defectuosa

$S_p$ : Es la desviación con respecto al estándar.

$n$ : Es el tamaño de la muestra.

$z$ : Es el número de desviaciones estándar para una confianza específica.

Los niveles de que se utilizan comúnmente son:  $z=3$  (confianza de 99.7%) y  $z=2.58$  (confianza de 99%).

### 6.3.3 *Calculo del índice de capacidad o habilidad del proceso ( $C_p$ y $C_{pk}$ ).*

El índice de capacidad ( $C_{pk}$ ) indica el desempeño real del proceso, ya que este considera la posición que tiene el promedio del proceso con respecto a las especificaciones. Es decir que muestra que tan bien las piezas que se produciendo, se ajustan dentro del rango especificado por los límites de diseño. Si los límites de diseño son superiores al tres sigma permitido en el proceso, entonces se puede permitir que la medida del proceso se desplace fuera del centro antes del reajuste, y se seguirá produciendo un alto porcentaje de piezas buenas.

En su expresión formal, el índice de capacidad ( $C_{pk}$ ) se calcula como el número más pequeño, como sigue:

$$C_{pk} = \min \left[ \frac{\bar{X} - LCI}{3\sigma} \text{ o } \frac{LCS - \bar{X}}{3\sigma} \right] \quad \text{Ec: 3.11}$$

Para considerar un proceso este bajo control, el  $C_{pk}$  debe de estar en los siguientes intervalos:

- $C_{pk} \geq 1.33$ : Suficientemente satisfactorio.
- $1.00 \leq C_{pk} \leq 1.33$ : Adecuado.
- $C_{pk} \leq 1.00$ : Inadecuado.

Un proceso es capaz en la medida en que tenga la habilidad de producir en forma predecible (el proceso de estar en control estadístico) dentro de especificaciones. En este sentido la capacidad de proceso es un índice relativo, si para un producto se tienen varios clientes, y las especificaciones para cada uno de ellos son diferentes, entonces la capacidad del proceso tendrá un valor diferente para cada uno de los clientes.

La capacidad potencial del proceso se define como:

$$Cp = \frac{LCS - LCI}{6\sigma} \quad \text{Ec. 3.12}$$

Es decir, la capacidad del proceso indica cuantas veces cabe la variación natural del proceso en el intervalo de especificación.

Cuando se habla de capacidad utilizando el índice Cp, no se debe olvidar que en realidad es un “traductor” de la cantidad del proceso en términos de porcentaje de producto no conforme. En la tabla 3.2 se muestra la relación existente entre el índice Cp y la calidad del producto.

Tabla 3.2. Índice Cp y calidad del producto

Índice Cp	Porcentaje fuera de tolerancia
0.5	13.361
0.6	7.186
0.7	3.573
0.8	1.639
0.9	0.693
1.0	0.270
1.1	0.097
1.2	0.032
1.3	0.0096
1.4	0.0027
1.5	0.0007
1.6	0.00016
1.7	0.00003
1.8	0.0000067
1.9	0.0000012
2.0	0.0000002

Para la construcción de estas cartas se utilizarán los formatos presentados en las siguientes figuras.

Control de calidad													
Nombre del producto	Muestras	Tamaño de muestra				Periodo	Fecha de inicio:						
		Tiempo de la toma de la muestra					Fecha de termino:						
Característica de calidad	Diagrama de control X						Diagrama de control R						
Límites de rango permitido	Max.												
	Min.												
		Numero de muestras						Total	Media				
Valores medidos													
Diagrama de control X													
Diagrama de control R													

Figura 3.7. Forma estándar de las cartas de control X y R.

Hoja de datos P						
Nombre de la parte			Tamaño de la muestra			
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo			Observaciones

Figura 3.8. Hoja de datos de datos del diagrama P.

Carta P															
Nombre de la parte					Tamaño de muestra										
Diagrama P															

Figura 3.9. Grafica de la carta P.

Este estudio se realizará para cada estación y ensamble que integra el armado del robot de juguete. Tomando en cuenta las siguientes condiciones durante el estudio.

- El tiempo promedio asignado a cada operación es de 34.58 segundos. Este es el tiempo obtenido mediante el primer estudio de tiempos en la práctica número 1.
- La desviación estándar permitida es de 2.
- El rango óptimo es de 2 segundos.
- El número de muestras a estudiar será de 16.

- El tamaño de cada muestra será de 5 mediciones cada una.

Con estos datos se calculan los límites de control con los cuales se analizarán si las estaciones de están bajo control y/o cumplen con las condiciones especificadas. Los límites que se tomarán en cuenta para saber si estaciones de trabajo cumple con estas normas se calculan mediante las ecuaciones 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6:

Se calculan los coeficientes según se enlistan en la tabla 3.1. En este caso al tener una muestra de tamaño 5, los coeficientes a utilizar serán:

$$A_2: 0.58$$

$$D_3: 0$$

$$D_4: 2.11$$

Límites de control para la carta  $\bar{X}$

$$\text{Limite de control superior (LCS): } 34.58 + 0.58(2) = 35.74$$

$$\text{Limite de control inferior (LCI): } 34.58 - 0.58(2) = 33.42$$

Límites de control para el rango (R).

$$\text{Limite de control superior (LCS): } 2.11(2) = 4.22$$

$$\text{Limite de control inferior (LCI): } 0(2) = 0$$

Para la construcción del gráfico de la carta de control P se hará uso de las ecuaciones 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10, además se utilizará un nivel de confianza (z) igual a 3 o del 99.7%.

Tomando en cuenta que se desea que el porcentaje máximo de errores permitido sea del 15%, para considerar que el lote estudiado está en condiciones óptimas para salir a la venta. Las estaciones que estén fuera de estos límites se consideraran *fuera de control*.

### 6.3.4. *Presentación y análisis de las cartas de control.*

Una vez que se establecieron los límites, se realiza el análisis de las estaciones de trabajo. Los análisis de las estaciones de trabajo se presentan a continuación.

#### *Estación 1.*

En la tabla 3.3 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 3.3. Muestreo de tiempos de la estación 1.**

Muestreo estación 1							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	30.32	29.75	29.85	32.72	32.81	31.09	3.06
2	31.25	29.37	30.31	31.12	29.69	30.35	1.88
3	29.12	28.98	30.43	31.81	29.51	29.97	2.83
4	31.28	32.34	30.72	31.47	29.88	31.14	2.46
5	31.16	29.25	29.53	30.56	31.75	30.45	2.50
6	31.16	33.88	33.62	31.75	33.50	32.78	2.72
7	33.47	31.97	30.09	34.75	33.69	32.79	4.65
8	32.78	31.28	33.75	29.54	30.37	31.54	4.21
9	31.75	29.75	30.22	30.19	29.97	30.38	2.00
10	29.75	31.85	32.69	33.28	31.41	31.80	3.53
11	30.97	30.69	32.87	32.82	31.22	31.90	2.18
12	28.12	29.22	28.18	30.44	30.41	29.27	2.32
13	33.12	32.06	30.12	30.51	29.56	31.07	3.56
14	29.43	29.84	29.63	31.75	29.85	30.10	2.32
15	31.81	29.69	30.53	29.31	31.25	30.52	2.50
16	33.66	33.21	31.82	31.59	29.28	31.94	4.38
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 31.07$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 2.94$

En la figura 3.9 se muestra las cartas de control de la estación 1.

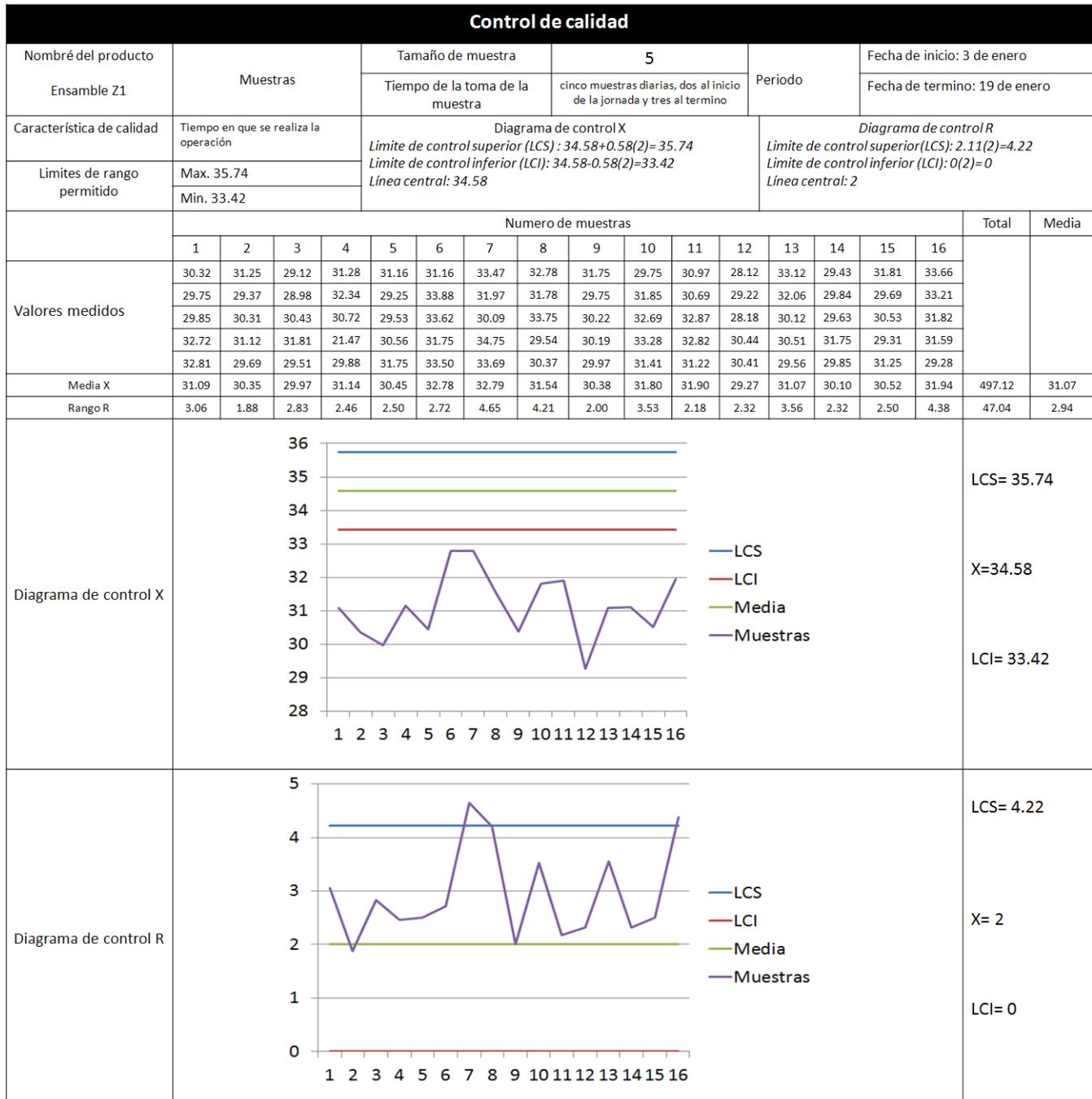


Figura 3.9. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 1.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que todos los puntos están por debajo del límite inferior permitido lo que ocasiona una sobre producción en esta estación, o un sobre flujo de piezas a las estaciones subsecuentes.

En el grafico R se observa una clara tendencia hacia arriba lo que significa que este sistema es inestable con respecto al tiempo que realiza cada ensamble. Esto se debe principalmente que algunas piezas están rotas y su ensamble es más simple que las piezas que se encuentran en buenas condiciones.

Durante el muestreo para la creación de las cartas de control  $\bar{X}$  y R, se anotaron los errores de ensamble, con los cuales se creo la hoja de datos y la grafica del la carta de control P; En la tabla 3.4 se muestran los errores del ensamble de la estación 1, y en la figura 3.10 la grafica que representa estos datos para que sean analizados.

**Tabla 3.4. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P							
Nombre de la parte	Ensamble Z1	Tamaño de la muestra	5				
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo				Observaciones
			Mal ensamble de las piezas				
			C0	C1	E0	P0	
1	2	0.25	0	0	0	2	Coloco al revés la pieza
2	1	0.13	0	1	0	0	No ensamble la pieza
3	0	0.00	0	0	0	0	
4	1	0.13	0	0	0	1	Coloco al revés la pieza
5	0	0.00	0	0	0	0	
6	1	0.13	0	0	0	1	Coloco al revés la pieza
7	1	0.13	0	1	0	0	No ensamble la pieza
8	0	0.00	0	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	0	
11	1	0.13	0	1	0	0	No ensamble la pieza
12	0	0.00	0	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	0	
16	1	0.13	0	1	0	0	
TOTALES	8	1.00	0	4	0	4	

Con la información anterior se procede a la construcción de la grafica de la carta de control P.

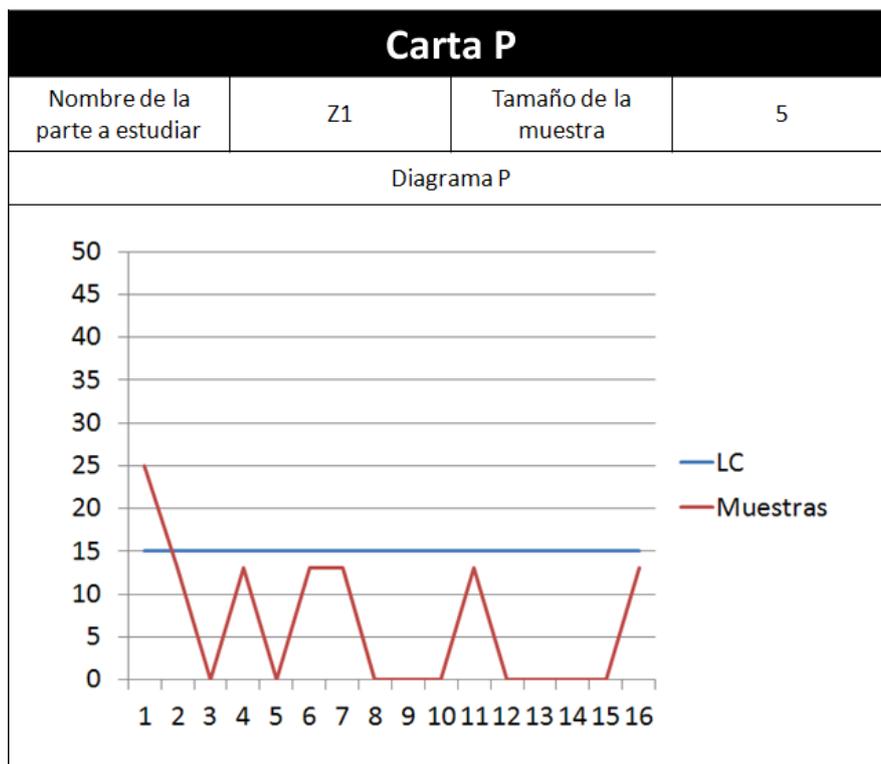


Figura 3.10. Grafica de la carta de control P.

En este grafico se puede apreciar una tendencia clara a la eliminación de errores en esta estación de trabajo, el punto que está sobre el límite se debió a que el trabajador no conocía el procedimiento de ensamble.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad, esto se logra mediante las ecuaciones 3.11, 3.12 y 1.9.

Para la estación 1, no se podrá calcular los índices, ya que todos sus datos están fuera de los límites de control.

Continuando con esta lógica de desarrollo del análisis estadístico, se realizara este análisis para las siguientes estaciones de trabajo.

*Estación de trabajo No. 2*

En la tabla 3.5 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 3.5. Muestreo de tiempos de la estación 2.**

Muestreo estación 2							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango $\bar{R}$
1	30.32	29.75	30.89	28.78	30.21	29.99	2.11
2	29.45	32.19	31.89	33.48	30.48	31.50	4.03
3	29.45	30.29	31.45	31.56	31.93	30.94	2.48
4	31.43	30.48	31.78	31.26	31.48	31.29	1.30
5	31.78	32.15	31.45	31.26	31.45	31.62	0.89
6	31.49	31.48	29.18	30.48	32.12	30.95	2.94
7	32.03	30.45	30.44	31.56	31.94	31.28	1,59
8	32.48	30.15	29.08	30.45	31.45	30.72	3.40
9	31.45	31.48	31.94	30.45	30.48	31.16	1.49
10	31.29	32.45	30.15	29.98	29.99	30.77	3.96
11	31.29	30.48	30.79	31.91	31.63	31.22	1.43
12	29.44	30.45	32.12	30.45	32.04	30.90	2.68
13	29.48	30.18	31.17	32.48	31.98	31.06	3.00
14	31.48	33.37	29.13	30.48	31.69	31.23	4.24
15	30.48	31.59	30.74	31.48	32.46	31.35	1.98
16	30.59	32.49	30.48	31.48	32.48	31.50	2.01
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 31.09$	Promedio de los rangos $\bar{\bar{R}} = 2.47$

En la figura 3.11 se muestra las cartas de control de la estación 2.

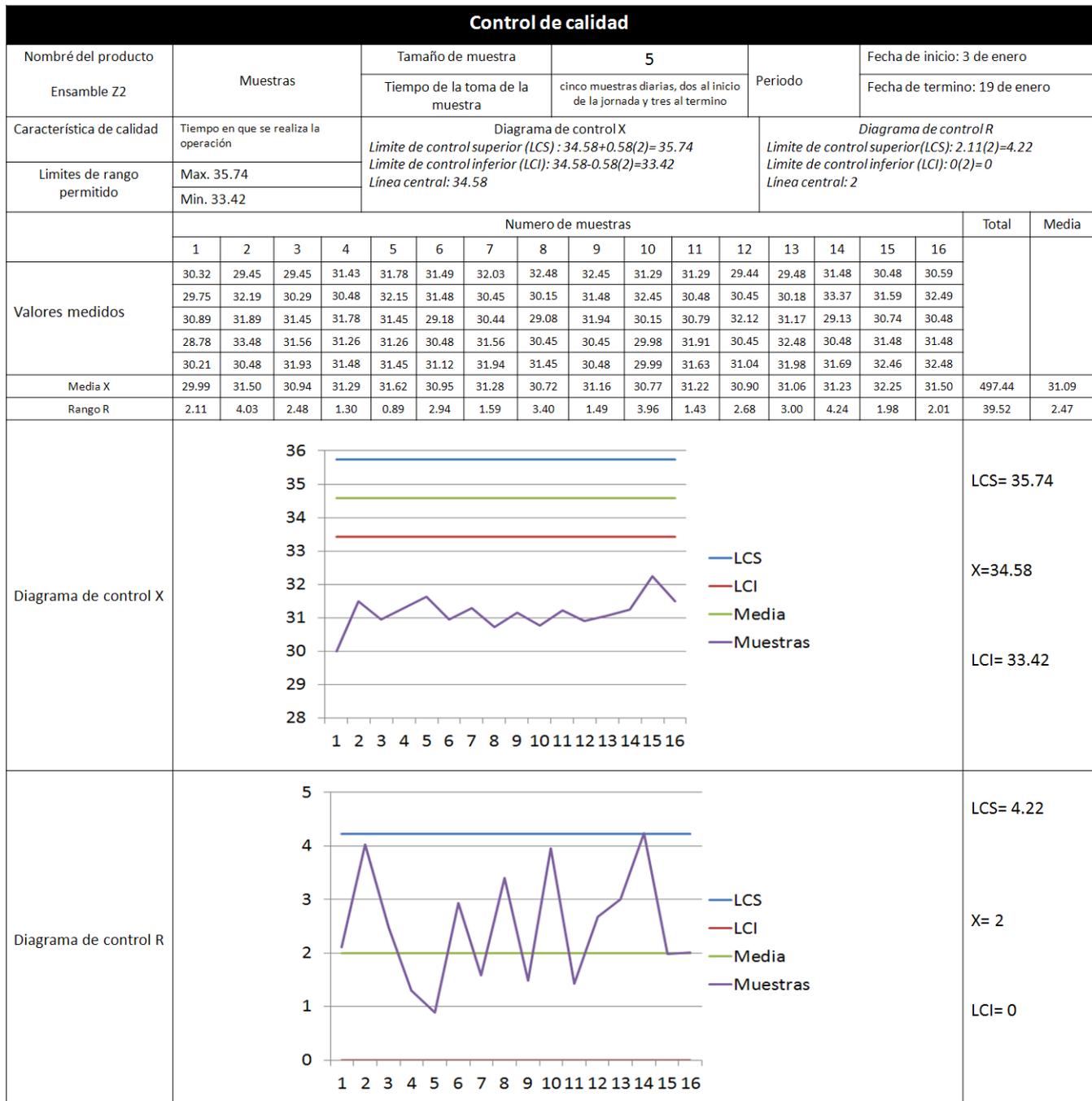


Figura 3.11. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 2.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que todos los puntos están por debajo del límite inferior permitido lo que ocasiona una sobre producción en esta estación de trabajo, o un sobre flujo de piezas a las estaciones subsecuentes.

En el grafico R se observa que no existe ningún tipo de tendencia, aunque un dato esta por encima del limite superior. Por lo cual se puede considerar que esta bajo control.

En la tabla 3.6 se muestra los errores del ensamble de la estación 2, y en la figura 3.12 la grafica que representa estos datos para que sean analizados en la carta de control P.

**Tabla 3.6. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P									
Nombre de la parte	Ensamble Z2		Tamaño de la muestra						5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo						Observaciones
			Mal ensamble de las piezas						
			AO	CO	HO	TO	YO	ZO	
1	2	0.28	0	0	0	2	0	0	coloco al revés la pieza
2	1	0.14	0	0	0	1	0	0	coloco al revés la pieza
3	1	0.14	0	0	0	0	1	0	coloco al revés la pieza
4	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
9	1	0.14	0	0	0	0	1	0	coloco al revés la pieza
10	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
12	1	0.14	0	0	0	1	0	0	coloco al revés la pieza
13	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
16	1	0.14	0	0	0	1	0	0	coloco al revés la pieza
TOTALES	7	1.00	0	0	0	5	2	0	

Con la información anterior se procede a la construcción de la grafica de la carta de control P.

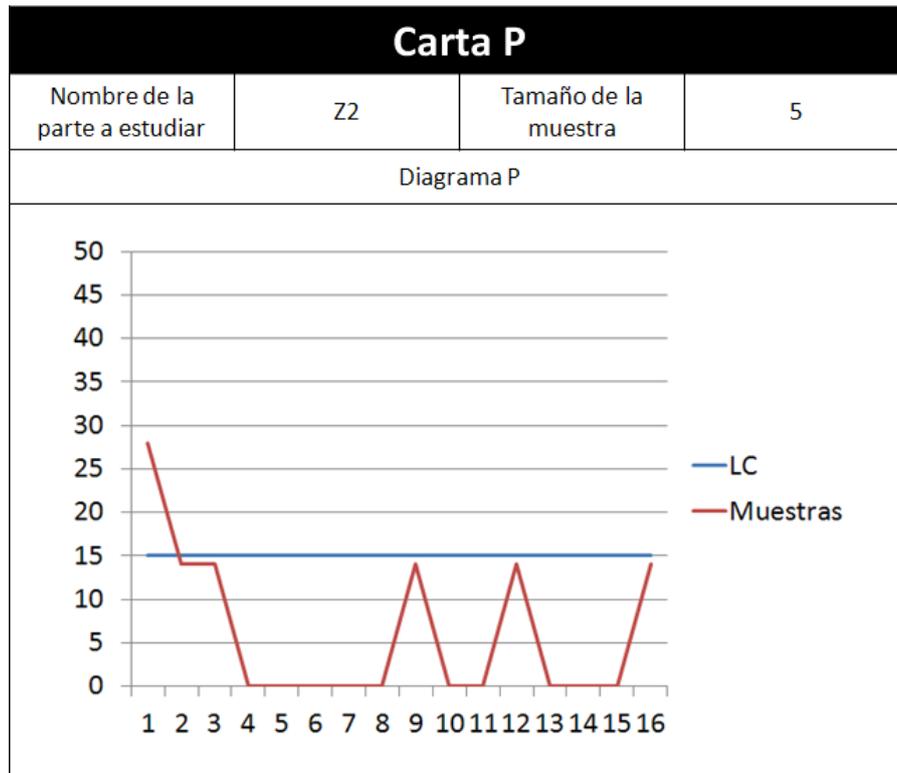


Figura 3.12. Grafica de la carta de control P.

En este grafico se puede apreciar a una tendencia clara a la eliminación de errores en esta estación de trabajo, el punto que está sobre el límite se debió a que el trabajador no conocía el procedimiento de ensamble.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad.

Para la estación 2, no se podrá calcular los índices, ya que todos sus datos están fuera de los límites de control.

Con este resultado se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 2 esta fuera de control.

*Estación de trabajo No. 3*

En la tabla 3.7 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 3.7. Muestreo de tiempos de la estación 3.**

Muestreo estación 3							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango $\bar{R}$
1	41.92	36.66	34.13	36.51	35.63	36.97	7.79
2	38.44	35.89	36.48	36.91	34.74	36.49	3.70
3	36.48	36.63	35.18	36.78	35.48	36.11	1.60
4	37.07	34.59	34.78	35.48	36.78	35.74	2.48
5	40.18	37.48	35.18	36.48	34.06	36.68	6.12
6	39.45	38.48	36.15	36.45	37.18	37.54	3.30
7	34.89	35.64	36.48	35.28	36.18	35.69	1.59
8	39.80	37.95	41.28	39.78	39.94	39.75	3.33
9	39.78	40.89	41.23	38.86	39.48	40.05	2.37
10	39.48	39.18	40.69	39.48	40.25	38.15	1.51
11	39.75	39.45	38.72	38.45	39.45	39.16	1.30
12	39.37	37.31	36.48	37.48	39.45	38.02	2.97
13	41.56	40.48	39.81	38.49	39.45	39.96	3.07
14	43.34	40.15	41.31	40.56	37.85	40.64	5.49
15	38.45	37.94	40.56	36.48	38.81	38.45	4.08
16	39.48	38.69	40.15	40.18	41.26	39.95	2.57
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 38.08$	Promedio de los rangos $\bar{\bar{R}} = 3.33$

En la figura 3.13 se muestra las cartas de control de la estación 3.

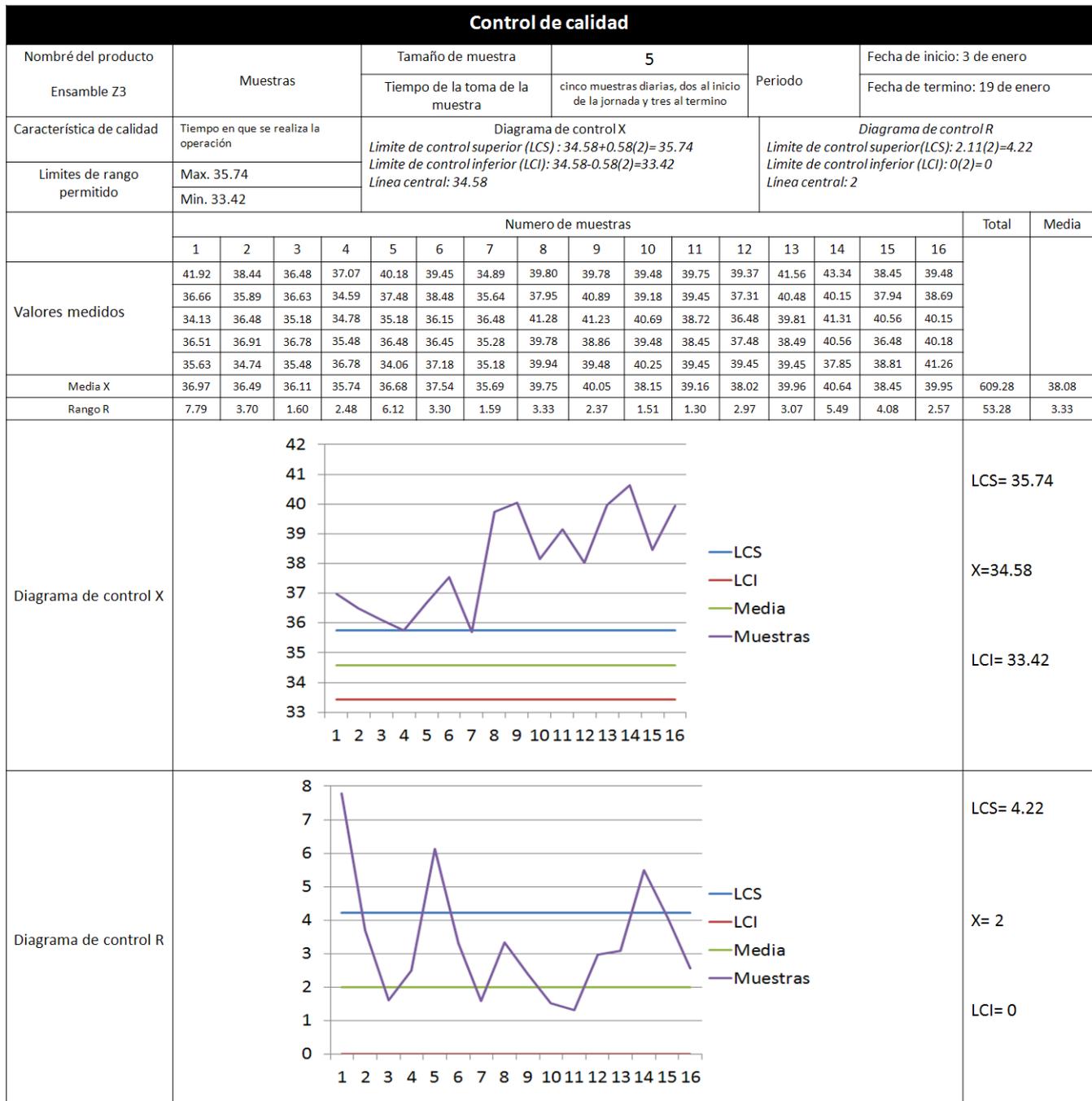


Figura 3.13. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 3.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que la mayoría de los puntos están por encima del límite superior permitido, lo que ocasiona una pobre producción en esta estación de trabajo, y un flujo lento de ensambles a la estación subsecuente.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen una variación muy grande lo cual hace que las piezas vayan a la siguiente estación de forma discontinua. Este grafico muestra además una tendencia a superar el límite de control superior.

En la tabla 3.8 se muestra los errores del ensamble de la estación 3, y en la figura 3.14 la grafica que representa estos datos para que sean analizados en la carta de control P.

**Tabla 3.8. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P								
Nombre de la parte	Ensamble Z3		Tamaño de la muestra					5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo					Observaciones
			Mal ensamble de las piezas					
			C2	J0	J1	L0	M0	
1	1	0.03	0	1	0	0	0	Ensamble la pieza J1 en lugar de J0
2	0	0.00	0	0	0	0	0	
3	1	0.03	0	0	1	0	0	Ensamble al revés la pieza
4	2	0.05	0	0	0	1	1	No coloco la piza L0, mal ensamble de la pieza M0
5	1	0.03	0	1	0	0	0	Ensamble la pieza J1 en lugar de J0
6	3	0.08	0	0	2	1	0	Ensamble al revés la pieza J1, no coloco la piza L0
7	4	0.11	0	1	2	1	0	Ensamble la pieza J1 en lugar de J0, ensamble al revés la pieza J1, no coloco la piza L0
8	3	0.08	1	1	0	1	0	No coloco la pieza C2, ensamble la pieza J1 en lugar de J0, mal ensamble de la pieza L0
9	2	0.05	0	1	0	1	0	ensamble la pieza J1 en lugar de J0, mal ensamble de la pieza L0
10	3	0.08	0	2	1	0	0	Ensamble la pieza J1 en lugar de J0, mal ensamble de la pieza J1
11	1	0.03	0	1	0	0	0	Ensamble la pieza J1 en lugar de J0
12	3	0.08	0	1	2	0	0	Ensamble la pieza J1 en lugar de J0, mal ensamble de la pieza J1
13	4	0.11	0	2	1	1	0	Ensamble la pieza J1 en lugar de J0, ensamble al revés la pieza J1, no coloco la piza L0
14	2	0.05	0	2	0	0	0	Ensamble la pieza J1 en lugar de J0
15	3	0.08	0	1	2	0	0	Ensamble la pieza J1 en lugar de J0, mal ensamble de la pieza J1
16	4	0.11	0	2	1	1	0	Ensamble la pieza J1 en lugar de J0, ensamble al revés la pieza J1, no coloco la piza L0
TOTALES	37	1.00	1	16	12	7	1	

Con la información anterior se procede a la construcción de la grafica de la carta de control P.

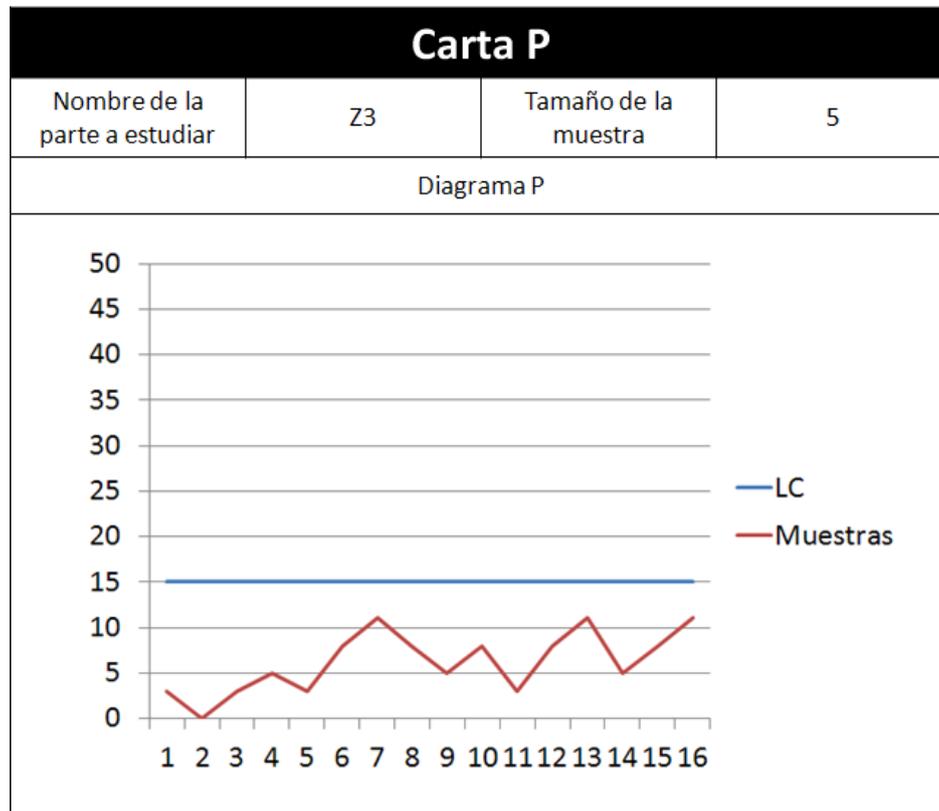


Figura 3.14. Grafica de la carta de control P.

En este grafico se puede apreciar a una tendencia clara a la eliminación de errores en esta estación de trabajo, ya que todos los puntos se encuentran en la línea central o por debajo de esta.

Para el cálculo del  $C_{pk}$  de la estación 3, nos queda de la siguiente manera:

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad.

Para la estación 3, no se podrá calcular los índices, ya que todos sus datos están fuera de los límites de control.

Con este resultado se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 3 esta fuera de control.

*Estación de trabajo No. 4*

En la tabla 3.9 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 3.9. Muestreo de tiempos de la estación 4.**

Muestreo estación 4							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango $\bar{R}$
1	36.81	36.48	35.48	34.59	34.57	35.59	2.24
2	35.69	36.78	37.22	35.41	36.79	36.38	1.81
3	33.18	39.45	31.06	35.78	34.16	34.73	8.39
4	35.48	37.85	34.84	36.48	36.48	36.23	3.01
5	34.75	38.81	36.49	37.41	35.41	36.57	4.06
6	38.48	34.79	35.12	34.19	36.54	35.82	4.29
7	36.45	34.82	35.74	35.18	36.18	35.68	1.63
8	35.08	36.38	38.41	35.41	37.91	36.64	3.33
9	38.18	35.48	35.49	36.18	37.41	36.55	2.70
10	34.98	35.18	36.31	37.28	35.41	38.15	2.30
11	35.34	38.12	37.61	35.89	36.18	36.63	2.78
12	36.46	35.48	37.08	36.48	34.16	35.93	2.92
13	34.18	35.18	37.44	37.56	35.61	35.99	3.38
14	36.48	35.48	38.98	39.51	34.17	36.92	5.34
15	36.15	36.33	38.11	35.48	36.18	36.45	2.63
16	36.18	36.18	34.48	34.48	36.84	35.63	2.36
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 36.24$	Promedio de los rangos $\bar{\bar{R}} = 3.32$

En la figura 3.15 se muestra las cartas de control de la estación 4.

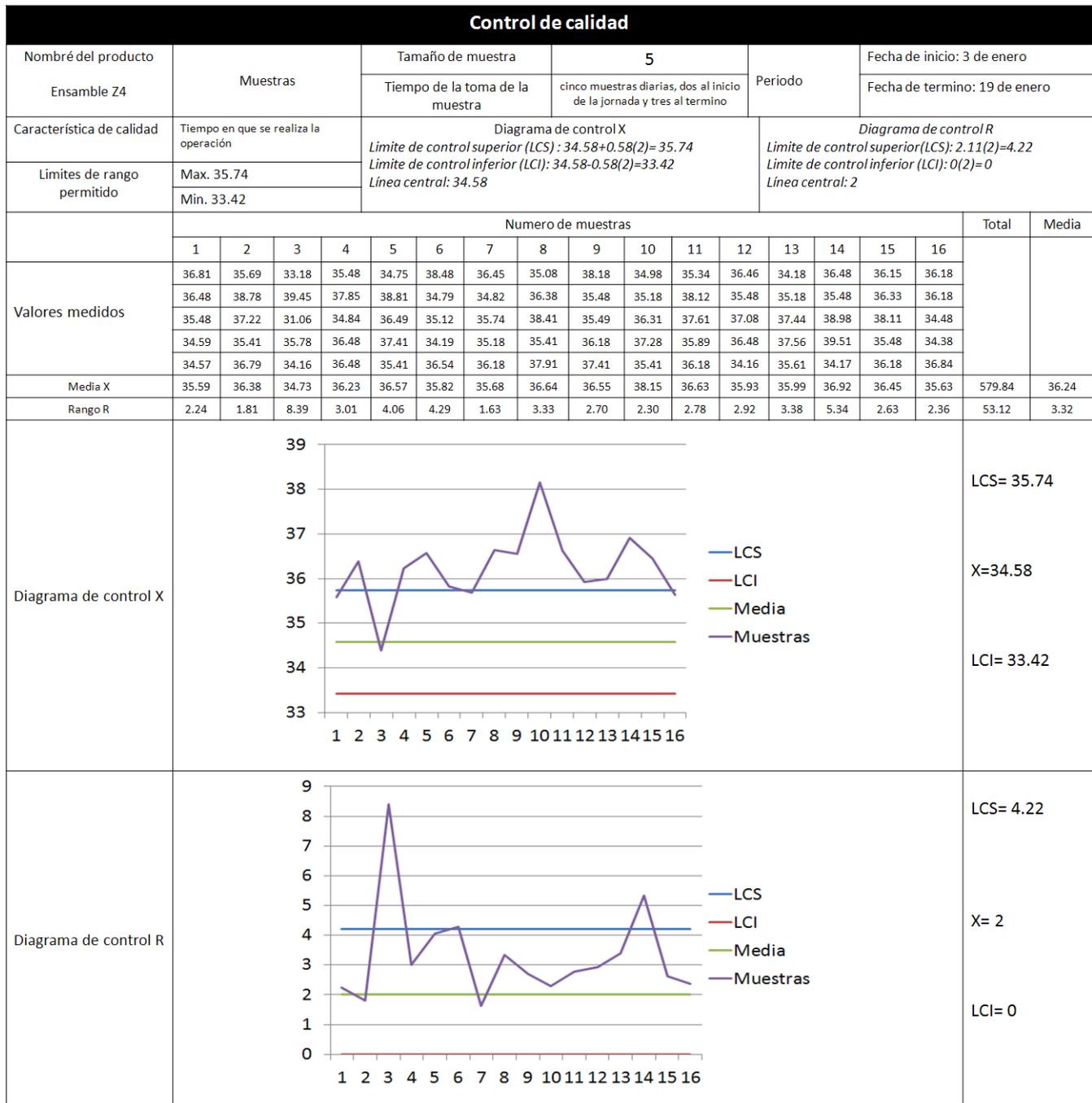


Figura 3.15. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 4.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que la mayoría de los puntos están por encima del límite superior permitido, lo que ocasiona una pobre producción en esta estación de trabajo, y un flujo lento de ensamblajes a la estación subsecuente.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen una variación muy grande lo cual hace que las piezas vayan a la siguiente estación de forma discontinua. Este grafico muestra además una tendencia a superar el límite de control superior.

En la tabla 3.10 se muestra los errores del ensamble de la estación 4, y en la figura 3.16 la grafica que representa estos datos para que sean analizados en la carta de control P.

**Tabla 3.10. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P									
Nombre de la parte	Ensamble Z4		Tamaño de la muestra						5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo						Observaciones
			Mal ensamble de las piezas						
			B0	C2	M0	N0	RO	X0	
1	1	0.20	1	0	0	0	0	0	no coloco la pieza
2	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
6	1	0.20	1	0	0	0	0	0	no coloco la pieza
7	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
9	1	0.20	1	0	0	0	0	0	no coloco la pieza
10	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
14	1	0.20	1	0	0	0	0	0	no coloco la pieza
15	1	0.20	1	0	0	0	0	0	no coloco la pieza
16	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
TOTALES	5	1.00	5	0	0	0	0	0	

Con la información anterior se procede a la construcción de la grafica de la carta de control P.

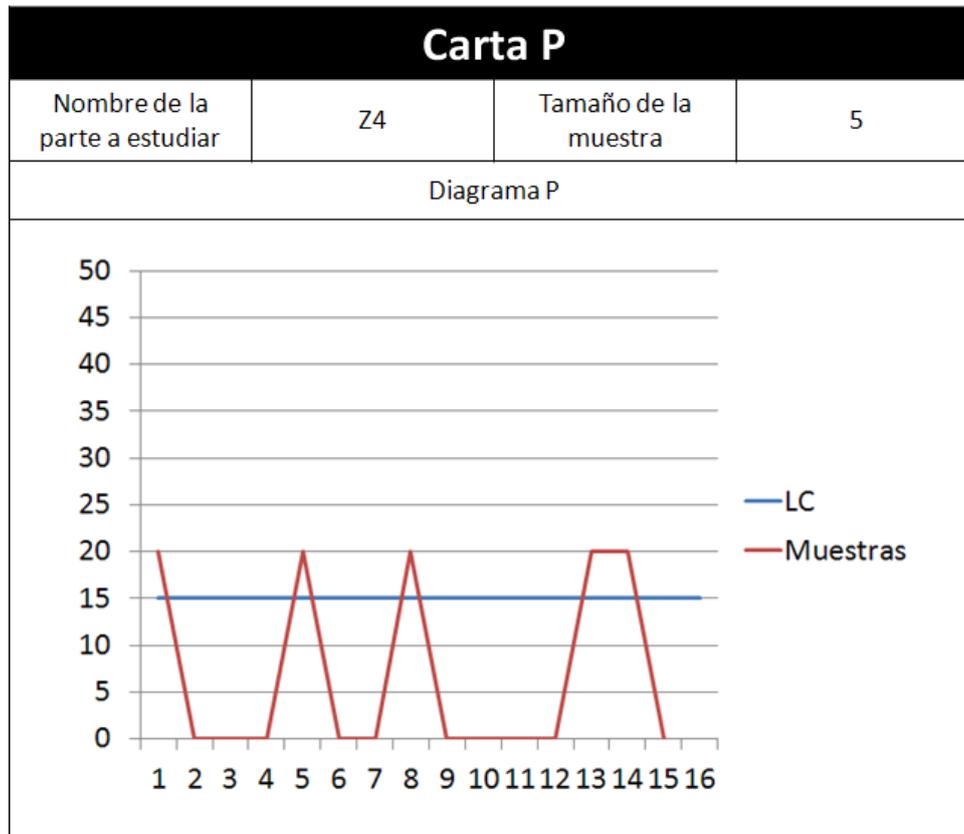


Figura 3.16. Grafica de la carta de control P.

En este grafico se puede apreciar a que todos los puntos por encima del límite, pero como se cometieron pocos errores se establece que el sistema esta bajo control aunque los puntos rebasen el limite.

Para el cálculo del  $C_{pk}$  de la estación 4, nos queda de la siguiente manera:

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad.

Para la estación 4, no se podrá calcular los índices, ya que todos sus datos están fuera de los límites de control.

Con este resultado se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 4 esta fuera de control.

*Estación de trabajo No. 5*

En la tabla 3.11 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 3.11. Muestreo de tiempos de la estación 5.**

Muestreo estación 5							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango $\bar{R}$
1	33.85	36.72	32.81	35.50	37.69	35.31	4.88
2	35.31	35.41	35.69	34.79	33.18	34.88	2.51
3	31.17	32.48	33.18	33.15	31.06	32.21	2.12
4	33.33	34.47	32.78	34.78	34.84	34.04	5.94
5	35.46	33.42	34.75	32.81	34.69	34.23	2.65
6	33.62	32.75	36.65	33.66	33.21	33.98	3.90
7	35.48	35.75	33.69	35.45	34.59	34.99	2.06
8	31.18	34.12	33.37	35.65	35.09	33.88	4.47
9	36.18	35.48	34.97	35.18	34.69	35.30	1.49
10	35.69	33.28	31.46	36.22	31.12	33.55	5.10
11	36.32	33.75	36.82	33.75	34.03	34.93	3.07
12	34.63	34.91	35.03	35.37	33.56	34.70	1.81
13	35.16	33.22	35.38	35.19	36.63	35.12	3.41
14	33.49	32.84	36.69	33.03	35.95	34.4	3.85
15	36.06	37.21	33.11	34.47	35.9	35.35	4.10
16	35.87	35.47	36.22	35.47	36.72	35.95	1.25
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 34.55$	Promedio de los rangos $\bar{\bar{R}} = 3.29$

En la figura 3.17 se muestra las cartas de control de la estación 5.

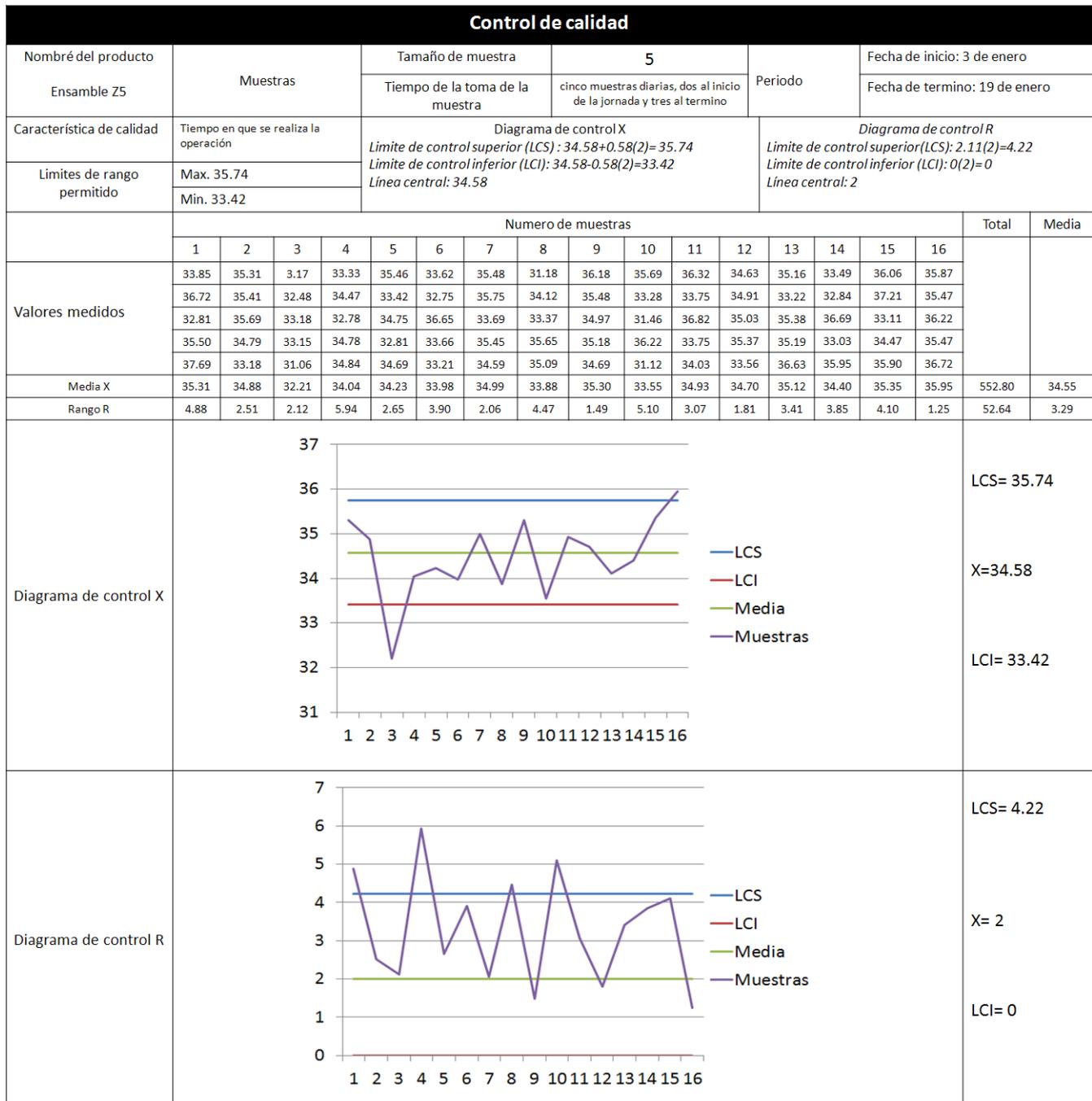


Figura 3.17. cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 5.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que los datos no presentan ningún tipo de tendencia aunque dos datos están fuera de los límites de control. En esta estación se podría concluir que, con respecto a la media, se encuentra bajo control.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen una variación muy grande lo cual hace que las piezas vayan a la siguiente estación de forma discontinua.

En la tabla 3.12 se muestra los errores del ensamble de la estación 5, y en la figura 3.18 la grafica que representa estos datos para que sean analizados en la carta de control P.

**Tabla 3.12. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P								
Nombre de la parte	Ensamble Z5		Tamaño de la muestra					5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo					Observaciones
			Mal ensamble de las piezas					
			C2	P0	J0	M0	W0	
1	0	0.00	0	0	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	0	0	
6	1	0.25	0	1	0	0	0	Coloco al revés la pieza
7	0	0.00	0	0	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	0	0	
10	1	0.25	0	0	0	1	0	Coloco al revés la pieza
11	0	0.00	0	0	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	0	0	
13	1	0.25	0	0	0	1	0	Coloco al revés la pieza
14	1	0.25	0	1	0	0	0	Coloco al revés la pieza
15	0	0.00	0	0	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	0	0	
TOTALES	4	1.00		2		2		

Con la información anterior se procede a la construcción de la grafica de la carta de control P.

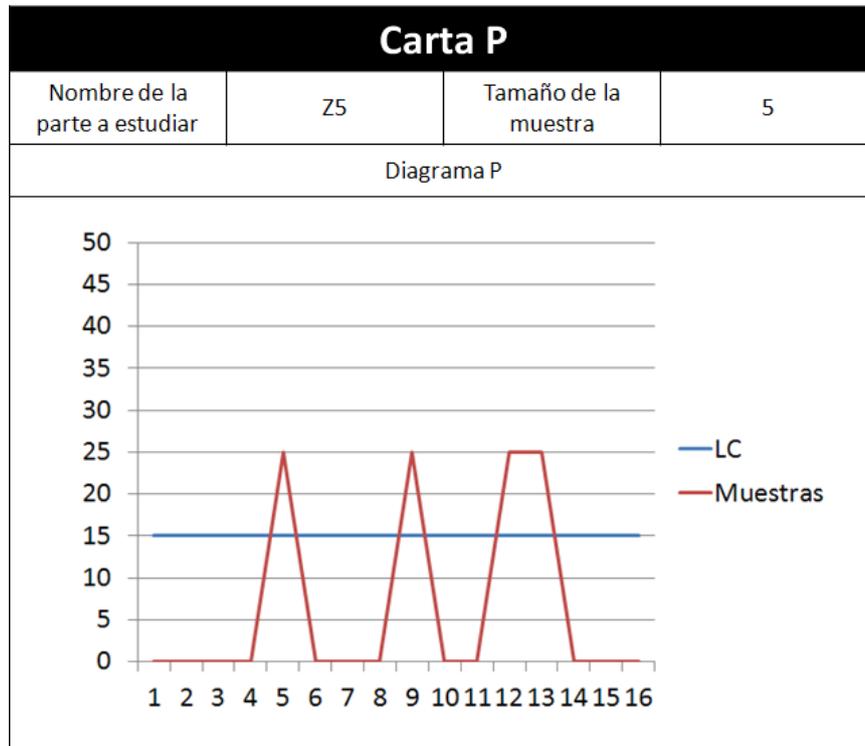


Figura 3.18. Grafica de la carta de control P.

En este grafico se puede apreciar a que todos los puntos están por encima del límite, pero como se cometieron pocos errores se establece que el sistema está bajo control aunque los puntos rebasen el límite.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad.

$$\sigma_5 = 1.51$$

$$C_{pk} = \frac{35.75 - 34.58}{3(1.51)} = 0.26$$

$$C_p = \frac{35.75 - 33.42}{6(1.51)} = 0.257$$

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 5 es insatisfactorio.

*Estación de trabajo No. 6*

En la tabla 3.13 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 3.13. Muestreo de tiempos de la estación 6.**

Muestreo estación 6							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango $\bar{R}$
1	34.32	33.75	36.82	33.75	37.44	35.22	3.69
2	34.63	37.91	34.74	35.37	36.07	35.74	3.28
3	37.16	33.22	37.38	35.19	31.93	34.98	5.45
4	33.40	32.84	36.69	33.03	33.46	33.88	5.88
5	36.06	37.21	33.46	34.47	34.15	35.07	3.75
6	35.87	35.47	36.22	35.47	31.28	34.86	4.94
7	32.03	35.53	33.85	31.56	36.58	33.91	5.02
8	34.78	34.53	36.15	35.31	32.62	34.68	3.53
9	33.34	35.28	36.16	34.18	34.15	34.62	2.82
10	35.19	36.18	33.87	36.06	33.15	34.89	3.03
11	35.18	33.66	34.13	36.51	35.15	34.93	5.85
12	36.18	33.49	34.41	36.91	32.15	34.63	4.76
13	35.79	36.63	35.18	35.18	33.91	35.34	2.72
14	36.18	34.19	36.49	34.66	33.15	34.93	3.34
15	36.06	33.34	32.91	36.15	34.06	34.50	3.24
16	35.31	36.34	35.97	34.46	33.38	35.09	2.96
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 34.83$	Promedio de los rangos $\bar{\bar{R}} = 4.02$

En la figura 3.19 se muestra las cartas de control de la estación 6.

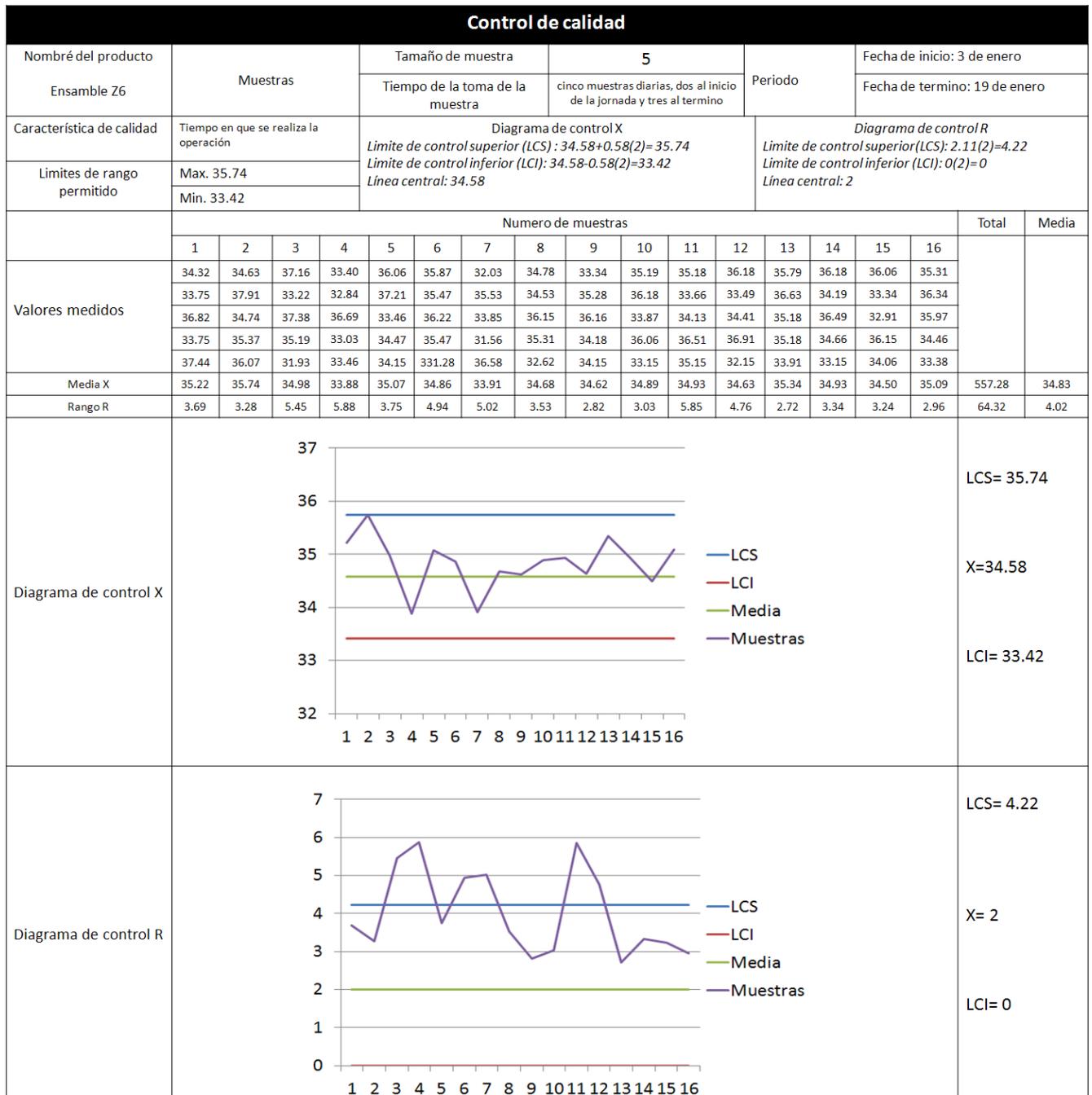


Figura 3.19. cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 6.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que los datos no presentan ningún tipo de tendencia. En esta estación se podría concluir que con respecto a la media, se encuentra bajo control.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen una variación muy grande lo cual hace que las piezas vayan a la siguiente estación de forma discontinua.

En la tabla 3.14 se muestra los errores del ensamble de la estación 6, y en la figura 3.20 la grafica que representa estos datos para que sean analizados en la carta de control P.

**Tabla 3.14. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P								
Nombre de la parte	Ensamble Z6		Tamaño de la muestra					5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo					Observaciones
			Mal ensamble de las piezas					
			C2	P0	J0	M0	S0	
1	1	0.14	0	1	0	0	0	Coloco al revés la pieza
2	0	0.00	0	0	0	0	0	
3	1	0.14	0	0	0	1	0	Coloco al revés la pieza
4	0	0.00	0	0	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	0	0	
8	1	0.14	0	1	0	0	0	Coloco al revés la pieza
9	0	0.00	0	0	0	0	0	
10	2	0.29	0	1	0	1	0	Coloco las piezas al revés
11	0	0.00	0	0	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	0	0	
13	1	0.14	0	0	0	1	0	Coloco al revés la pieza
14	0	0.00	0	0	0	0	0	
15	1	0.14	0	1	0	0	0	Coloco al revés la pieza
16	0	0.00	0	0	0	0	0	
TOTALES	7	1.00		3		4		

Con la información anterior se procede a la construcción de la grafica de la carta de control P.

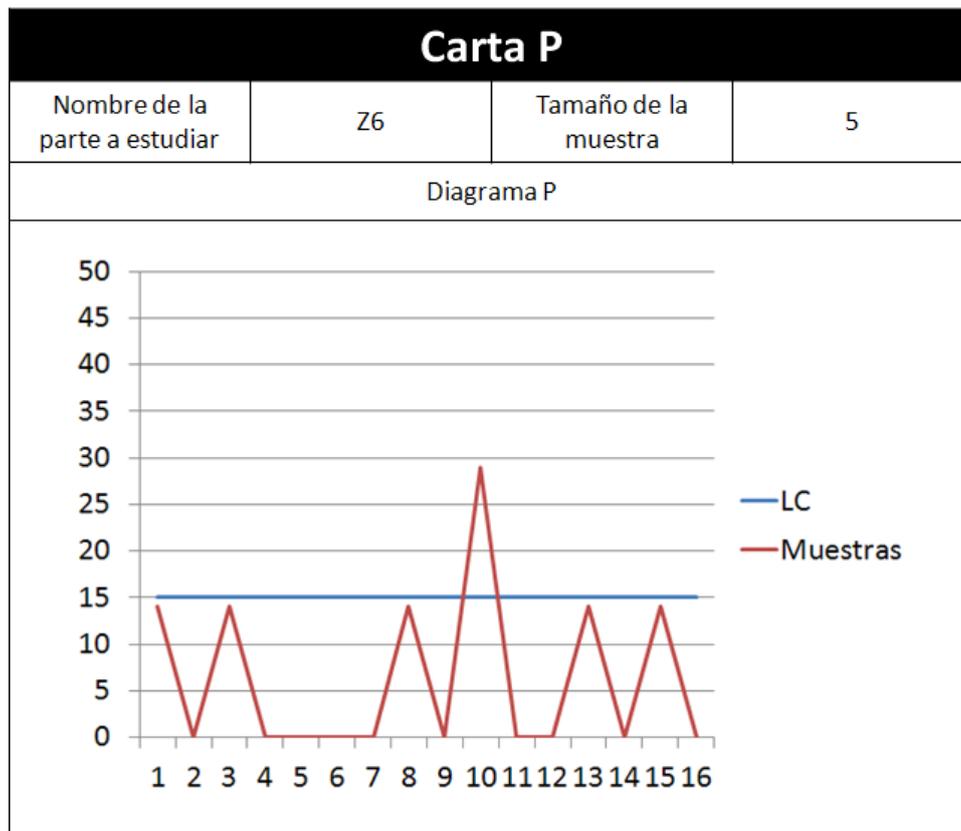


Figura 3.20. Grafica de la carta de control P.

En este grafico se puede apreciar a que todos los puntos están por debajo del límite, a excepción de uno que lo rebasa, aun así se considera un sistema controlado.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad.

$$\sigma_5 = 1.51$$

$$C_{pk} = \frac{35.75 - 34.58}{3(1.50)} = 0.26$$

$$C_p = \frac{35.75 - 33.42}{6(1.50)} = 0.259$$

Con este resultado se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 6 es insatisfactorio.

#### ***6.4. Calculo de costo de unitario de producción o de producto (CPD).***

Con el costo unitario de la producción, se puede conocer cuanto cuesta producir un servicio o producto que se desea ofertar al mercado, y así estimar, el precio al cual se va a ofrecer, como la posible oportunidad de competir en el mercado.

Para el cálculo del costo unitario de producción se deben tomar en cuenta los siguientes pasivos.

- Costos de materia prima.
- Costos de mano de obra.
- Gastos administrativos.

Recordando que este análisis se realizará con los gastos mensuales de producción para facilitar su análisis.

- Costos de materia prima (CDP).

Estos costos son en esencia los costos de los materiales que se utilizan durante la producción, además de costos de transporte y almacenamiento.

En la tabla 3.15 se enuncian los costos de cada pieza utilizada para el ensamble de un Robot de juguete en un periodo de un mes.

Tabla 3.15. Costo por paquete de las piezas utilizadas en el ensamble del robot.

Descripción de la pieza	Cantidad	Costo
A0	48330	618.70
B0	24165	446.85
C0	144990	1094.73
C1	24165	446.85
C2	96660	893.78
E0	24165	446.85
F0	48330	618.70
H0	24165	446.85
J0	120825	999.34
J1	24165	446.85
L0	48330	618.70
M0	193320	1264.03
N0	24165	446.85
P0	24165	446.85
R0	24165	446.85
S0	24165	446.85
T0	24165	446.85
W0	24165	446.85
Y0	24165	446.85
<b>Total</b>	<b>169155</b>	<b>11470.20</b>

- Costos de mano de obra (CMO).

Partiendo del conocimiento de que el salario estándar para un obrero es de 19.50 por hora, la jornada de trabajo es de 8 horas, y que en un mes hay aproximadamente 25 días hábiles, entonces se tiene:

$$\text{salario mensual por trabajador} = (19.50)(8)(25) = \$3900.00$$

Teniendo en cuenta que en la línea de producción hay 6 operarios, el costo total de mano de obra es de: \$23400.00

- Costos administrativos (CAD).

En la tabla 3.16 muestra todos los gastos administrativos, así como los salarios del personal que se encuentra fuera de la línea de producción, algunos ejemplos de estos gastos serian:

- Alquiler
- Servicios públicos
- Transporte del personal
- Publicidad
- Mantenimiento
- Impuestos
- Depreciación
- Seguros

Tabla 3.16. Costos administrativos de la línea de producción.

Descripción del costo	Costos Mensuales
Servicio de agua	\$200
Servicio de luz eléctrica	\$750
Publicidad	\$2500
Mantenimiento	\$500
Almacenamiento de materia prima	\$9271.25
Almacenamiento de producto terminado	\$9271.25
Salarios de administrativos	\$4300
Salarios de almacenistas	\$3500
Salarios de vendedores	\$4000
Totales	\$34292.50

Con la información anterior y las siguientes ecuaciones se calculan los costos de producción y la rentabilidad del producto:

Costo de producción:

$$CPD = CDP + CMO + CAD \quad \text{Ec. 3.13}$$

Costo unitario (CU):

$$CU = \frac{CPD}{UP} \quad \text{Ec. 3.14}$$

Costo primo (CP):

$$CP = CDP + CMO \quad \text{Ec. 3.15}$$

Precio de venta (PV):

$$PV = \frac{CU}{1-(utilidad)} \quad \text{Ec. 3.16}$$

Utilizando las ecuaciones anteriores se tiene:

Costo de producción:

$$CPD = 11470.20 + 23400 + 34292.50$$

$$CPD = \$69162.70$$

Costo unitario (CU):

$$CU = \frac{69162.70}{24165} = \$2.86$$

Precio de venta (PV):

Si se desea tener un margen de utilidad del 30%, el precio de venta ofertado será de:

$$PV = \frac{2.86}{1-(0.30)}$$

$$PV = \$4.08 \text{ por unidad}$$

Donde:

CPD: Es el costo por materia prima.

CMO: Es el costo de mano de obra.

CAD: Son los costos administrativos.

UP: son las unidades producidas

Para conocer si este sistema es rentable o no, se calcula la cantidad de robots que se producen en un mes y se multiplica por el precio de venta, a este resultado se le resta los gastos calculados y se obtiene las ganancias mensuales promedio. Para el cálculo de esta información se hará uso de la ecuación 1.10 y la información proporcionada por la tabla 1.12.

$$Pd = \frac{28800 - 213.60}{35.60} = 802 \approx 802 \text{ piezas producidas diariamente}$$

$$\text{ingresos mensuales} = (802)(4.08)(25) = \$81804.00$$

Si restamos a los ingresos mensuales los costos de producción se obtendrá las ganancias mensuales:

$$81804.00 - 69162.70 = 12641.30$$

Se puede concluir que la línea de producción es un negocio rentable ya que los ingresos superan a los egresos.

## ***7. Resultados.***

- Durante los análisis estadísticos, los operadores cometieron diversos errores, ocasionado que el producto final no saliera con una buena calidad, además de consumir más tiempo de armado que el asignado, intentando solucionar sus errores.
- En las primeras dos estaciones, el muestreo se encontraba por debajo del límite de control inferior, lo que ocasiono que las piezas de estas estaciones salieran de forma desmesurada a las estaciones subsecuentes, y como estas estaciones mostraban un comportamiento más perezoso, se provocaba y cuello da botella principalmente en la estación 3.
- Las muestras de la estación 3, se presentaban con una tendencia positiva, que había rebasado el límite de control superior.
- En la estación 4, los datos se encontraban sobre el límite de control superior, sin ninguna tendencia aparente, pero aun así mostraban puntos que rebasaban el limite.
- Las dos últimas estaciones mostraban un comportamiento semiestable dentro de los límites asignados, pero con un valor de  $cp$  y  $cpk$  demasiado bajos.
- En todas las estaciones se observa un amplio rango de valores en las muestras lo que significa que se tiene una gran variación entre estos.

## 8. *Cuestionario Final.*

### *¿Qué eficiencia tiene la línea de ensamble que planteo y por que?*

Se obtuvo una excelente eficiencia del 97.18%, ya que los tiempos reales eran muy semejantes a los tiempos óptimos o especificados, pero esta cifra es engañosa ya oculta diversos problemas como son: todos los errores de ensamblado, si se está o no controlada la producción, etc.

### *¿Qué podría concluir con el porcentaje de productos defectuosos y la carta de control P?*

Aunque se tenga un buen ritmo de producción, se comenten demasiados errores de ensamble, aunque la mayoría se podrían eliminar con práctica, al estar presionado por alcanzar el tiempo de ensamble y/o seguir el ritmo de ensamblado de las otras estaciones de trabajo cometen más errores, un ejemplo claro de esto es la estación 3.

### *¿Qué indican los diagramas $\bar{X}$ ?*

En las 2 primeras estaciones las muestras estaban muy por debajo del límite de control, pero mostraban un comportamiento estable.

La estación 3 mostraba un comportamiento inestable con tendencias a que las muestras sobrepasaran el límite de control superior.

En la estación 4, se presento un caso parecido a las estaciones 1 y 2, pero la diferencia radica que las muestras estaban sobre el límite de control superior en lugar del inferior, pero mostrando un comportamiento estable. Esto puede deberse a la tardanza o retraso de la estación 3.

En las estaciones 5 y 6 se presentas estables y dentro de los rangos establecidos, lo que podría concluir que se encuentran estables y bajo control. Pero al ser las únicas 2 estaciones con este comportamiento, se concluye que todo el sistema esta fuera de control.

*¿Cuál fue el costo de producción? Para usted este costo es elevado, si es así ¿como lo reduciría?*

El costo de producción fue bajo (\$3.18), pero si se toma en cuenta los retrabajos realizados por tantos errores cometidos, este costo se incrementaría muchísimo ocasionando un incremento en el consumo de materia prima, horas de trabajo para compensar la producción, incremento de salarios por horas extra, etc.

*¿Cuál fue el valor que obtuvo del índice  $C_{pk}$  y que indica?*

Solo se pudieron calcular este índice para las dos últimas estaciones de trabajo ya que son las únicas que presentaron un comportamiento estable, y estas presentaron un índice de 0.29, lo que indica un rendimiento demasiado pobre.

*¿Qué haría para mejorar la línea de ensamble?*

Primeramente corregir los errores del ensamblado, después cambiar los límites de control y establecer una nueva distribución de piezas y estaciones de trabajo en la cual todos los tiempos de ensamble y espera sean semejantes.

## ***9. Conclusiones de la práctica.***

Con el control estadístico de la calidad, se puede anticipar los errores antes que se presenten, o recalcular los límites de control establecidos, si los valores presentan algún patrón de tendencia, observar los valores que se encuentran fuera del límite, y establecer si la producción esta fuera de control o fue un acontecimiento aislado.

Saber cuanto cuesta producir un producto o servicio, nos da la pauta para conocer si tenemos la oportunidad de entrar al mercado con una ventaja competitiva con respecto al precio o no, además de que establece si la empresa es rentable o no, ya que es bien sabido que el objetivo de la empresa es obtener ganancias.

## ***Capítulo 4.***

### ***“Metodología de proyectos de mejora (proyectos Kaizen) y Distribución de planta (Layout)”***

#### ***Práctica número 4.***

***Duración de la práctica: 3 sesiones.***

#### ***1. Objetivo.***

Al finalizar la práctica, el estudiante tendrá la capacidad de solucionar los problemas presentados dentro y fuera del una línea de producción, además de diseñar un layout optimo para la manufactura del producto o servicio a producir.

#### ***2. Introducción.***

##### *Distribución de planta- layout*

La distribución de planta es un concepto relacionado con la disposición de las máquinas, los departamentos, las estaciones de trabajo, las áreas de almacenamiento, los pasillos y los espacios comunes dentro de una instalación productiva propuesta o ya existente. La finalidad fundamental de la distribución en planta, consiste en organizar estos elementos de manera que se asegure la fluidez del trabajo, materiales, personas e información a través del sistema productivo.

Tipos Básicos de Distribución en Planta:

Existen cuatro tipos básicos de distribuciones en planta:

- Distribución por proceso
- Distribución por producto o en línea
- Distribución de posición fija.
- Distribución híbridas: las células de trabajo

### *Proyectos Kaizen*

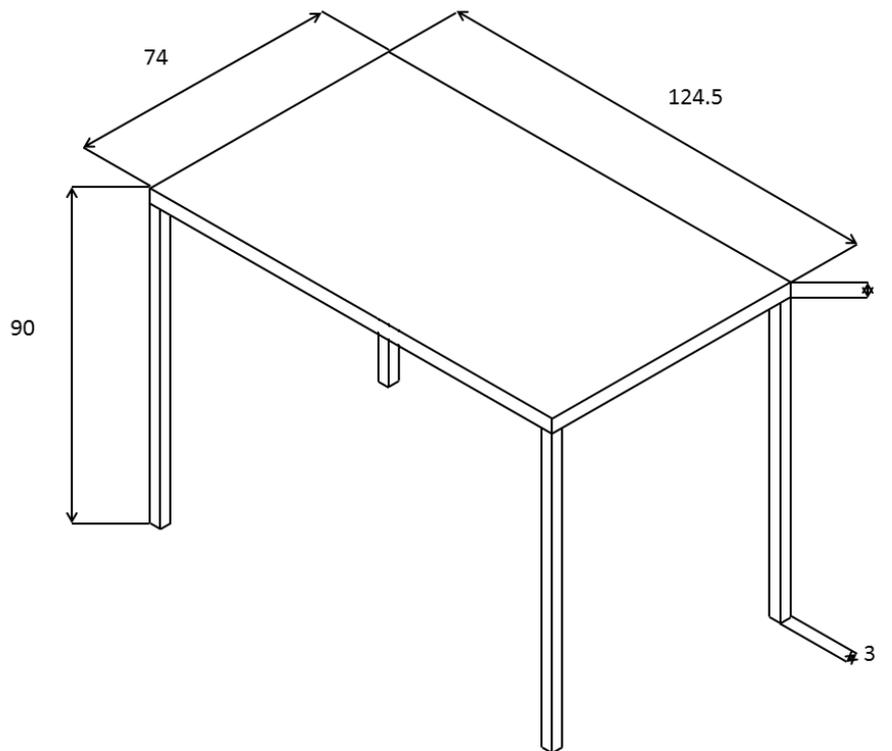
Es el término japonés para el mejoramiento continuo, y es el proceso para hacer mejoras incrementalmente, no importa lo pequeñas que sean, y alcanzar las metas de eliminar todos los desperdicios, que generan un costo sin agregar valor. Kaizen enseña a trabajar efectivamente a los individuos en grupos pequeños, a solucionar problemas, documentando y mejorando los procesos, recolectando y analizando datos, y a manejarse por sí mismos.

Puntos clave para la mejora de la producción:

1. El puesto de trabajo.
  - Ergonomía.
  - Orden y limpieza (5's).
  - Estandarización del trabajo.
  - Proceso de mejora.
2. Disponibilidad de los equipos, gestión del mantenimiento y preparación de máquinas.
  - Gestión del mantenimiento, evaluación y programación.
  - Métodos de cambios rápidos de herramientas o equipo y su análisis.
  - Análisis de riesgo.
  - Plazos de entrega.
3. Calidad en los materiales en proceso y recepción de materiales.
  - Recepción de materias primas y semi-elaborados.
  - Métodos de muestreo para garantizar la calidad de entrada y salida.
  - Gestión de la no conformidad.
4. Calidad en la fabricación de gráficos de control y capacidad de procesos.
  - Sistemas de medición del cumplimiento de especificaciones.
  - Análisis técnico de la capacidad de un proceso.
  - Análisis de raíz de problemas.
5. Medición de indicadores básicos de gestión de centros de trabajo.
  - Indicadores de rendimiento, disponibilidad y calidad.
  - Medidas de coste y varianza.

### 3. *Mobiliario y Equipo utilizado.*

- Cronometro.
- Estación de trabajo. En la figura 4.1 se muestra el diagrama de la mesa de trabajo móvil.



**Figura 4.1. Diagrama de la mesa de trabajo móvil.**

- Robot de juguete.
- Estante de madera. El diagrama del estante se ilustra en la figura 1.2.
- Línea de ensamble “verde”: en la figura 4.2 se muestra el diagrama de la línea de ensamble que se utilizara durante el desarrollo de esta práctica.

**Diagrama de la línea de ensamble "Verde"**

Acot: m  
Velocidad: 0.17 m/s

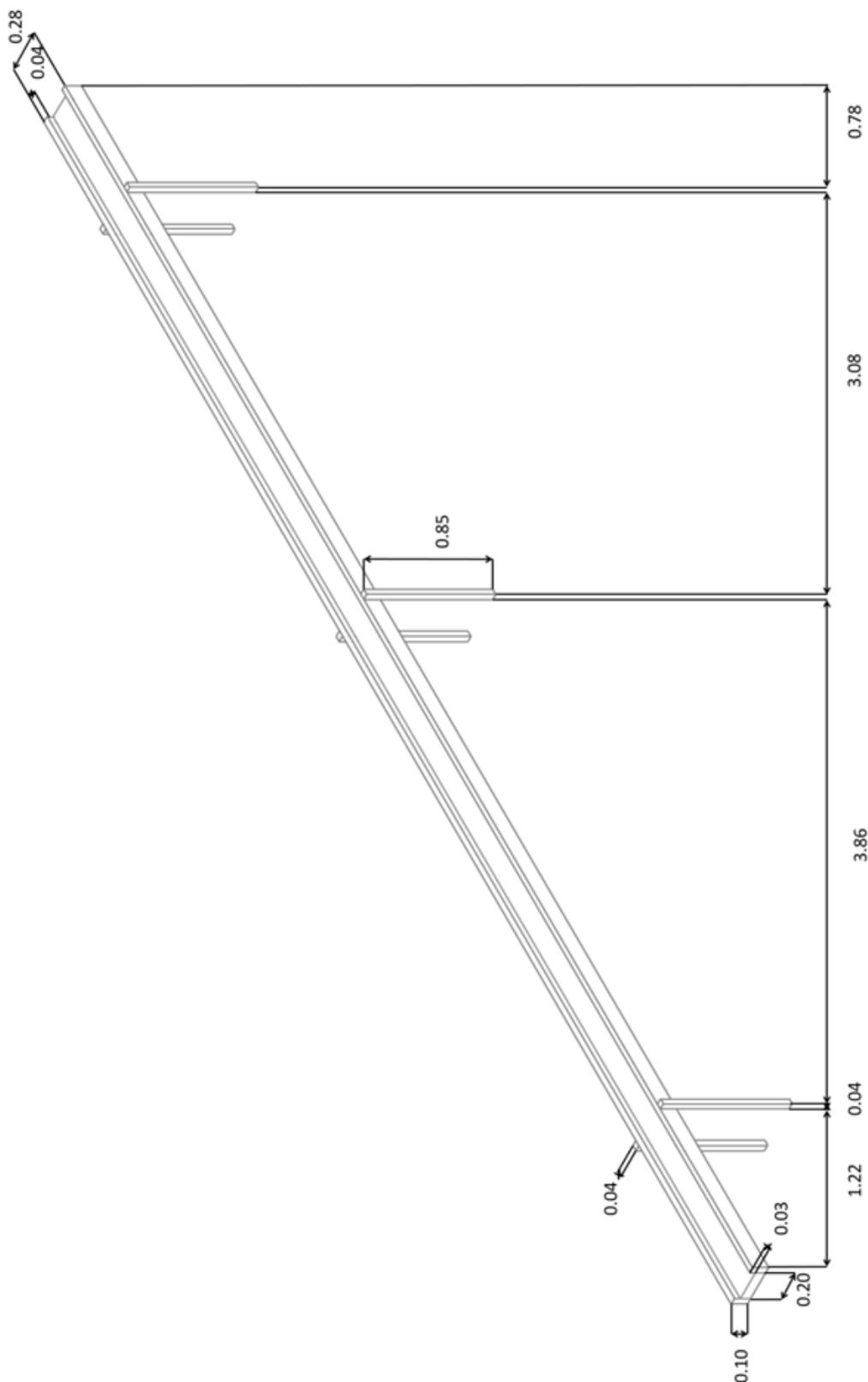


Figura 4.2. Diagrama de la línea de producción "Verde".

## **4. Marco teórico de la práctica.**

### **4.1. Distribución de planta- Layout.**

La distribución de planta es un concepto relacionado con la disposición de las máquinas, departamentos, estaciones de trabajo, áreas de almacenamiento, pasillos y los espacios comunes dentro de una instalación productiva propuesta o ya existente. La finalidad fundamental de la distribución en planta consiste en organizar estos elementos de manera que se asegure la fluidez del trabajo, materiales, personas e información a través del sistema productivo.

Características de una adecuada Distribución de Planta:

- Minimizar los costes de manipulación de materiales.
- Utilizar el espacio eficientemente.
- Utilizar la mano de obra eficientemente.
- Eliminar los cuellos de botella.
- Facilitar la comunicación y la interacción entre los propios trabajadores, con los supervisores y con los clientes.
- Reducir la duración del ciclo de fabricación o del tiempo de servicio al cliente.
- Eliminar los movimientos inútiles o redundantes.
- Facilitar la entrada, salida y ubicación de los materiales, productos o personas.
- Incorporar medidas de seguridad.
- Promover las actividades de mantenimiento necesarias.
- Proporcionar un control visual de las operaciones o actividades.
- Proporcionar la flexibilidad necesaria para adaptarse a las condiciones cambiantes.

Parámetros para la elección de una adecuada Distribución de Planta:

El tipo de distribución elegida vendrá determinado por:

- La elección del proceso.
- La cantidad y variedad de bienes o servicios a elaborar.
- El grado de interacción con el consumidor.
- La cantidad y tipo de maquinaria.
- El nivel de automatización.
- El papel de los trabajadores.
- La disponibilidad de espacio.
- La estabilidad del sistema y los objetivos que éste persigue.

Las decisiones de distribución en planta pueden afectar significativamente la eficiencia con que los operarios desempeñan sus tareas, la velocidad a la que se pueden elaborar los productos, la dificultad de automatizar el sistema, y la capacidad de respuesta del

sistema productivo ante los cambios en el diseño de los productos, en la gama de productos elaborados o en el volumen de la demanda.

Tipos Básicos de Distribución en Planta:

Existen cuatro tipos básicos de distribuciones en planta:

- Distribución por proceso
- Distribución por producto o en línea
- Distribución de posición fija.
- Distribución híbridas: las células de trabajo

## 4.2. *Factores ergonómicos.*

La palabra ergonomía se deriva de las palabras griegas "ergos", que significa trabajo, y "nomos", leyes; por lo que literalmente significa "leyes del trabajo", es decir, es la actividad de carácter multidisciplinaria encargada de la conducta y las actividades, con la finalidad de adecuar los productos, sistemas, puestos de trabajo y entornos, a las características, limitaciones y necesidades, buscando optimizar su eficacia, seguridad y confort.

En la actualidad, se puede definir la ergonomía de las siguientes maneras:

- Según la Asociación Internacional de Ergonomía: La ergonomía es el conjunto de conocimientos científicos aplicados para que el trabajo, los sistemas, productos y ambientes se adapten a las capacidades y limitaciones físicas y mentales de la persona.
- Según la Asociación Española de Ergonomía: La ergonomía es el conjunto de conocimientos de carácter multidisciplinarios aplicados para la adecuación de los procesos, sistemas y entornos artificiales a las necesidades, limitaciones y características de sus usuarios, optimizando la eficacia, seguridad y bienestar.

La ergonomía se ocupa principalmente de:

- El estudio del operario individual o del equipo de trabajo.
- La facilitación de datos para el diseño

### ***4.2.1. Objetivo de la ergonomía.***

El objetivo de la ergonomía es adaptar el trabajo a las capacidades y posibilidades del ser humano.

Todos los elementos de trabajo ergonómicos se diseñan teniendo en cuenta quiénes van a utilizarlos. Lo mismo debe ocurrir con la organización de la empresa: Es necesario diseñarla en función de las características y las necesidades de las personas que las integran.

La psicología aplicada, parte del hecho de que las necesidades de las personas son cambiantes, como lo es la propia organización social y política. Por ello, las organizaciones no pueden ser centros aislados y permanecer ajenas a estos cambios.

Hoy en día, se demanda calidad de vida laboral. Este concepto es difícil de traducir en palabras, pero se puede definir como el conjunto de condiciones de trabajo que no dañan la salud y que, además, ofrecen medios para el desarrollo personal, es decir, mayor contenido en las tareas, participación en las decisiones, mayor autonomía, posibilidad de desarrollo personal, etc.

Los principales objetivos de la ergonomía y de la psicología aplicada son los siguientes:

- Identificar, analizar y reducir los riesgos laborales (ergonómicos y psicosociales).
- Adaptar el puesto de trabajo y las condiciones de trabajo a las características del operador.
- Contribuir a la evolución de las situaciones de trabajo, no sólo bajo el ángulo de las condiciones materiales, sino también en sus aspectos socio-organizativos, con el fin de que el trabajo pueda ser realizado salvaguardando la salud y la seguridad, con el máximo de confort, satisfacción y eficacia.
- Controlar la introducción de las nuevas tecnologías en las organizaciones y su adaptación a las capacidades y aptitudes de la población laboral existente.
- Establecer prescripciones ergonómicas para la adquisición de útiles, herramientas y materiales diversos.
- Aumentar la motivación y la satisfacción en el trabajo.

### 4.2.2. *Diferentes ramas de la ergonomía.*

- Ergonomía Cognitiva.

La ergonomía cognitiva (o como también es llamada 'cognoscitiva') se interesa en los procesos mentales, tales como percepción, memoria, razonamiento, y respuesta motora, en la medida que estas afectan las interacciones entre los seres humanos y los otros elementos componentes de un sistema.

Los asuntos que le resultan relevantes incluyen carga de trabajo mental, la toma de decisiones, el funcionamiento experto, la interacción humano-computadora, la confiabilidad humana, el stress laboral, el entrenamiento y la capacitación, en la medida en que estos factores pueden relacionarse con el diseño de la interacción humano-sistema.

- Ergonomía Física.

La ergonomía física se preocupa de las características anatómicas, antropométricas, fisiológicas y biomecánicas humanas que se relacionan con la actividad física.

Sus temas más relevantes incluyen posturas de trabajo, sobreesfuerzo, manejo manual de materiales, movimientos repetitivos, lesiones músculo-tendinosas de origen laboral, diseño de puestos de trabajo, seguridad y salud ocupacional.

- Ergonomía Organizacional.

La Ergonomía Organizacional se preocupa por la optimización de sistemas socio-técnicos incluyendo sus estructuras organizacionales, las políticas y de los procesos.

Son temas relevantes a este dominio los factores psicosociales del trabajo, la comunicación, la gerencia de recursos humanos, el diseño de tareas, el diseño de horas laborables y trabajo en turnos, el trabajo en equipo, el diseño participativo, la ergonomía comunitaria, el trabajo cooperativo, los nuevos paradigmas del trabajo, las organizaciones virtuales, el teletrabajo y el aseguramiento de la calidad.

### 4.2.3. *Análisis ergonómico de tareas*

El análisis de tareas, es un procedimiento de codificación y recopilación de información sobre el contenido de los puestos o tareas y la asociación de éstos con ciertos atributos de los puestos (valoración, complejidad, dificultad, interdependencia) o de sus ocupantes (características personales, conocimientos, destrezas).

Por lo tanto, es necesario que se elijan y definan aquellos factores que van a ser representativos del contenido de trabajo en todas sus vertientes y, posteriormente, se tratará de evaluar siguiendo criterios objetivos o subjetivos. Es imprescindible conocer a fondo todos los aspectos del puesto de trabajo en sí mismo, siendo esencial la máxima recopilación de información sobre él, en cuanto a sus propias exigencias, complejidad, habilidades requeridas, entre otras.

Los métodos objetivos de evaluación son métodos normalizados sencillos que dejan poco espacio a las interpretaciones, favoreciendo los criterios de evaluación de los factores fácilmente observables.

Los métodos subjetivos se basan en el principio de que los propios operadores y sus mandos directos inmediatos son los que están en mejor disposición para poder detectar los incidentes y observar los problemas y restricciones que se dan durante el desarrollo habitual de su trabajo; se apoyan en la expresión libre de cómo experimenta cada uno su trabajo y a qué causas se atribuyen los problemas que encuentra en cada uno de los factores que componen sus condiciones de trabajo.

Los métodos mixtos de evaluación combinan los métodos objetivos y subjetivos, lo que permitirá reconocer en qué punto existen convergencias o divergencias, la magnitud de éstas últimas y una clara idea de dónde se tiene que analizar con más profundidad o dónde existen opiniones contradictorias en el grupo. En el ciclo de desarrollo de la aplicación de las evaluaciones, es importante considerar las características del método seleccionado y la condición del sistema de trabajo, ya sea que se encuentre en su fase de concepción, durante su desarrollo o cuando ya está en funcionamiento. En la imagen 4.3 se muestra las dimensiones ideales o recomendadas para una tarea sentado.

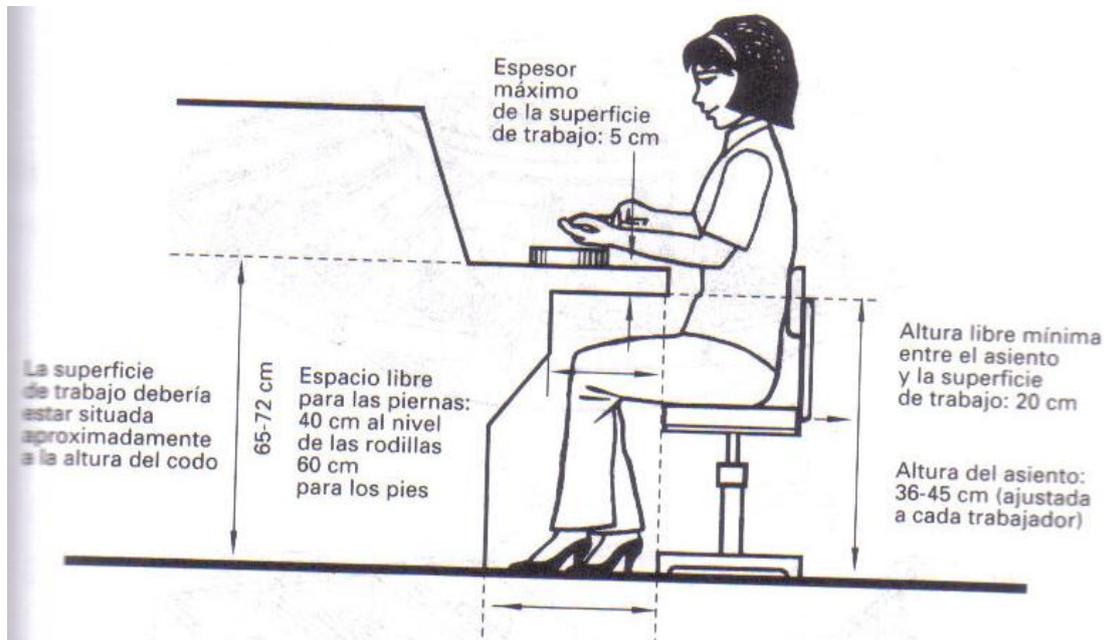


Figura 4.3 Dimensiones recomendadas para tareas efectuadas en posición de sentado

#### 4.2.4. *Ciclo de desarrollo en la aplicación de las evaluaciones.*

El análisis del trabajo no tiene como objetivo el hacer juicios o definir criterios de selección, pero sí, el de recopilar información sobre los elementos que constituyen y caracterizan el conjunto de la situación de trabajo, con el fin de aportar recomendaciones para la mejora. El análisis trata de describir como es ejecutado el trabajo y no como debe ser ejecutado.

Los resultados del análisis ergonómico de tareas deben permitir poner en evidencia los elementos que son particularmente difíciles o inadaptados, de manera tal que se corrija la situación de trabajo por una mejor adaptación al hombre en la actividad, lo que incluye el cuidado de la salud, la disminución de las cargas y el mejoramiento de las condiciones de trabajo.

### 4.3. *Estudio de movimientos.*

La finalidad del estudio de movimientos es hacer que la realización del trabajo sea más fácil y productiva, mejorando los movimientos manuales. La diferencia más obvia entre el análisis de procesos y de estudio de movimientos, es el alcance del estudio. Los estudios se refieren a los movimientos corporales de una persona. En el diagrama de proceso de un operador, cada círculo representa una posible área de economía de movimientos.

#### 4.3.1. *Economía de movimientos.*

A través de este concepto, lo que se busca es ejecutar los movimientos con un recorrido directo, y un menor consumo de energía, ya que de esta manera evitamos los movimientos innecesarios o excesivamente amplios.

*Principios de la economía de movimientos.*

Existen varios principios de economía de movimientos que son resultado de la experiencia y constituyen una base excelente para idear mejores métodos en el lugar de trabajo. Estos principios se pueden clasificar en tres grupos:

- Utilización del cuerpo humano.
  - ✓ Las dos manos deben comenzar y completar sus movimientos a la vez.
  - ✓ Nunca deben estar inactivas las dos manos a la vez, excepto durante los periodos de descanso.
  - ✓ Los movimientos de los brazos deben realizarse simultáneamente y en direcciones opuestas y simétricas.
  - ✓ Los movimientos de las manos y del cuerpo deben caer dentro de la clase más baja que sea posible para ejecutar satisfactoriamente el trabajo.
  - ✓ Debe aprovecharse el impulso cuando favorece al obrero, pero debe reducirse a un mínimo si hay que contrarrestarlo con un esfuerzo muscular.
  - ✓ Son preferibles los movimientos continuos y curvos a los movimientos rectos, en los que hay cambios de dirección repentinos y bruscos.
  - ✓ Los movimientos de oscilación libre son más rápidos, más fáciles y más exactos que los restringidos o controlados.
  - ✓ El ritmo es esencial para la ejecución suave y automática de las operaciones repetitivas, y el trabajo debe disponer de modo que se pueda hacer con un ritmo fácil y natural, siempre que sea posible.

- ✓ El trabajo debe disponerse de modo que los ojos se muevan dentro de los límites cómodos y no sea necesario cambiar de foco a menudo.
- Distribución del lugar de trabajo.
  - ✓ Debe haber un sitio definido y fijo para todas las herramientas y materiales, con objeto de que se adquieran hábitos.
  - ✓ Las herramientas y materiales deben colocarse de antemano donde se necesitaran, para no tener que buscarlos.
  - ✓ Deben utilizarse dispositivos y medios de abastecimiento por gravedad, para que el material llegue tan cerca como sea posible del punto de utilización.
  - ✓ Las herramientas, materiales y mandos deben situarse dentro del área máxima de trabajo y tan cerca del trabajador como sea posible (figura 4.4).
  - ✓ Los materiales y herramientas deben situarse en la forma que a los contenedores se les de el mejor orden posible. En el lugar de una disposición en un solo arco de círculo, es preferible utilizar una disposición en dos arcos de círculo (figura 4.5).
  - ✓ Deben utilizarse, siempre que sea posible, eyectores y dispositivos que permitan al operario dejar caer el trabajo terminado, sin necesidad de utilizarlas manos para despacharlo.
  - ✓ Deben preverse medios para que la luz sea buena, y facilitarle al obrero una silla del tipo y altura adecuados para que se sienta en buena postura. La altura de la superficie de trabajo y la del asiento deberán combinarse de forma que permitan al operario trabajar alternativamente sentado o de pie.
  - ✓ El color de la superficie de trabajo deberá contrarrestar con el de la tarea que realiza, para reducir así la fatiga de la vista.
- Modelo de las máquinas y herramientas.
  - ✓ Debe evitarse que las manos estén ocupadas sosteniendo la pieza cuando esta pueda sujetarse con una plantilla, bazo o dispositivo accionado por el pie.
  - ✓ Siempre que sea posible deben combinarse dos o más piezas.
  - ✓ Siempre que cada dedo realice un movimiento específico, como para escribir a máquina, debe distribuirse la carga de acuerdo con la capacidad inherente a cada dedo.
  - ✓ Los mangos, como los utilizados en las manivelas y destornilladores grandes, deben diseñarse para que la mayor cantidad posible de la

superficie este en contacto con la mano. Es algo de especial importancia cuando hay que ejercer mucha fuerza sobre el mango.

- ✓ Las palancas, barras cruzadas y volantes de mano debe situarse en posiciones que permitan al operario con un mínimo de cambio de posición del cuerpo y un máximo de ventajas mecánicas.

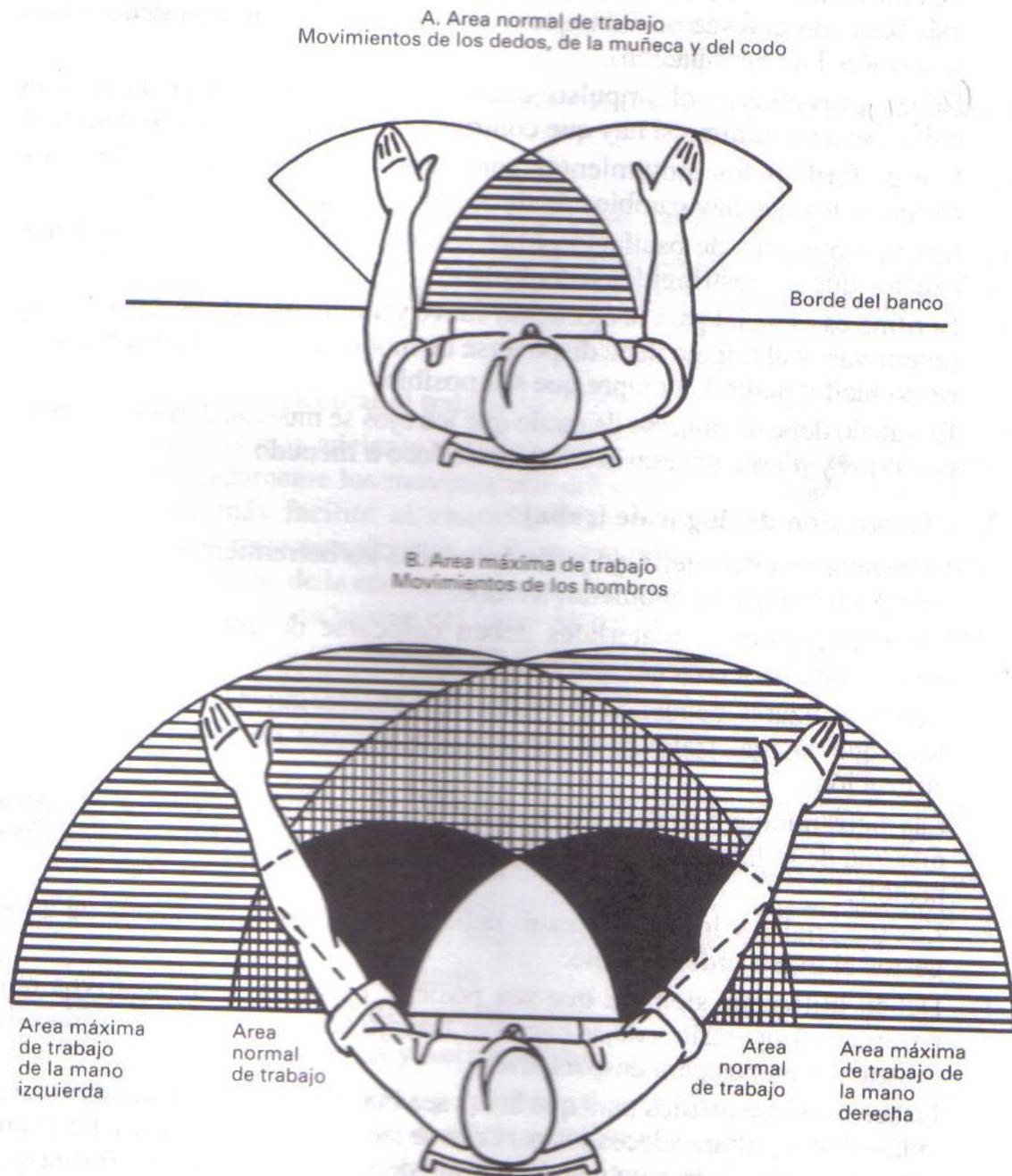


Figura 4.4. Área normal y máxima de trabajo

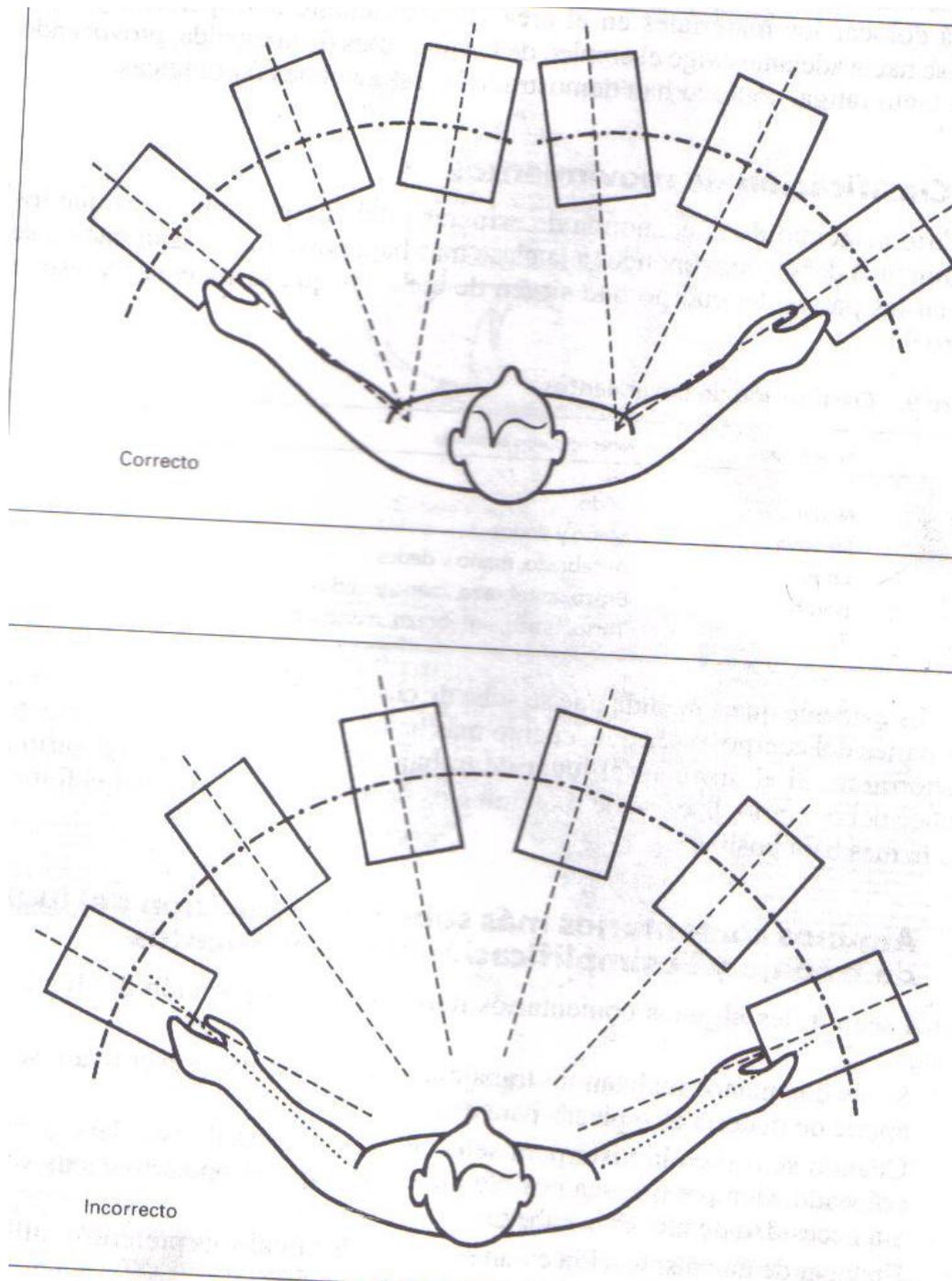


Figura 4.5. Disposición recomendada en dos arcos de círculo.

### 4.3.2. Clasificación de movimientos.

Es el cuarto principio de la economía de esfuerzos del cuerpo humano, indica que los movimientos deben corresponder a la clase más baja posible. La clasificación se basa en las partes del cuerpo que sirven de eje a las que se mueven. Véase en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Clasificación de movimientos.

Clase	Punto de apoyo	Partes del cuerpo empleadas
1	Nudillos	Dedo
2	Muñeca	mano y dedos
3	codo	antebrazo, mano y dedo
4	Hombro	Brazo, antebrazo, mano y dedo
5	Tronco	Torso, brazo, antebrazo, mano y dedo

Es evidente que a medida que se sube de clase van entrando en movimiento más partes del cuerpo, o sea que, cuando más baja sea la clase, más movimientos se ahorran. Si al disponer el lugar de trabajo se coloca todo lo necesario al alcance del operario, la clase de movimientos necesarios para ejecutar el trabajo será mas baja posible.

### 4.4. Flujo continuo.

El flujo continuo se puede resumir en un simple enunciado: “mover uno, hacer uno o mover un pequeño lote, hacer un pequeño lote”.

Entender el flujo continuo es crítico para asegurarse de que las operaciones nunca se harán más de lo que se haya demandado. De esta forma, nunca se producirá más de lo que el cliente pida.

El procesamiento con flujo continuo implica producir o transportar productos de acuerdo con tres principios clave:

- Solamente lo que se necesita.
- Justo cuando se necesita.
- En la cantidad exacta que se necesita.

Se producirá una pieza o un pequeño lote por las operaciones solamente después de que sea movida o jalada una pieza o un pequeño lote. A esto también se le conoce como sistema de producción jalar. Jalar la producción es más rápido que empujar la producción. Un sistema de jalar, controla el flujo entre las operaciones y elimina la necesidad de programar la producción.

Ventajas del flujo continuo:

- Reducción drástica de los inventarios de trabajo en proceso (WIP).
- Habilidad para identificar los problemas y arreglarlos rápidamente.
- La programación de la producción tradicional queda obsoleta.

#### **4.4.1. Flujo y desperdicio.**

El desperdicio es usualmente un síntoma de los obstáculos para el flujo. Los problemas principales obstáculos para el flujo continuo son:

- Tiempo del cambio de herramientas o de equipo para trabajar la pieza.
- Disponibilidad de la maquina.
- Calidad.

Otros obstáculos para el flujo continuo son:

- Un pobre layout de la planta.
- La variación en el tiempo de ciclo de los procesos.

#### **4.5. Balanceo de línea.**

Típicamente, algunas operaciones toman más tiempo que otras dejando a los operarios sin nada que hacer mientras esperan la siguiente parte. Por otro lado, algunas operaciones tal vez necesiten más de un operador. El balanceo de líneas es un proceso a través el cual, con el tiempo, se van distribuyendo los elementos del trabajo dentro del proceso en orden, para que alcancen el tiempo de operación asignado (*Takt time*). El balanceo de línea ayuda a la optimización del uso del personal. Al balancear la carga de trabajo, para evitar que algunos trabajen de más mientras que otros no hagan nada. Manteniendo en mente que la demanda de consumidor tal vez fluctúe, para solucionar esto solo basta con cambiar el takt time y, entonces será necesario hacer un rebalanceo la línea cada vez que esto ocurra.

Para calcular el tiempo takt basta con dividir el tiempo disponible para la producción durante el día entre los pedidos del cliente de ese día.

$$Takt\ time = \frac{tiempo\ total\ disponible\ durante\ el\ dia\ (en\ segundos)}{pedidos\ del\ cliente\ (día)}$$

#### **4.5.1. Tiempo ciclo (TC).**

El tiempo ciclo es cuando una parte o producto es terminado en un proceso, en un determinado tiempo. También, el tiempo que le toma a un operador ir a través de todos sus elementos de trabajo antes que los repita.

No se debe confundir este medible con el takt time, el cual es un medible de la demanda del cliente.

El tiempo ciclo total es la suma de los tiempos de cada operación individual dentro del proceso.

El tiempo de ciclo total también se refiere como el total del tiempo que agrega valor, por que este es el tiempo durante el cual se le comienza a agregar valor a la materia prima conforme fluye por los procesos.

El valor agregado es el tiempo de los elementos de trabajo que actualmente transforman los productos en lo que desea el cliente y esta dispuesto pagar.

#### **4.5.2. Grafica del balanceo de operadores (operator balance chart, "OBC").**

El balanceo de línea inicia con el análisis del estado actual del proceso. La mejor herramienta para esta actividad es la grafica de balanceo de operadores (OBC). El OBC es una representación de los elementos de trabajo, el tiempo requerido y los operadores de cada estación. Se usa para mostrar las oportunidades de mejora visualizando cada tiempo de operación en relación con el takt time y el tiempo de ciclo total.

Los pasos para crear una grafica OBC son las siguientes:

1. Determinar el tiempo de ciclo actual y los elementos de trabajo asignados.
2. Crear una grafica de barra que de una mejor representación de las condiciones.

3. Para determinar el número de estaciones de trabajo se divide el tiempo ciclo total del producto entre el takt time.

$$\text{No. de estaciones de trabajo} = \frac{(TC)}{\text{takt time}}$$

Cuando se calcula el número de operadores y el decimal es menor o igual a 0.5, indica que un operador debe ser eliminado del proceso, cuando se trabaja en eliminar los desperdicios.

#### **4.6. Trabajo estandarizado.**

Para que el flujo ocurra dentro de los procesos que agregan valor, los trabajadores deben de ser capaces de producir dentro del takt time y mejorar consistentemente el tiempo de ciclo de los elementos de trabajo asignado. Aquí se busca estandarizar el tiempo de ciclo a un tiempo dado o calculado, y observar que todos hagan el mismo trabajo de la misma manera. Esto se logra implementando el trabajo estandarizado.

El trabajo estandarizado es un conjunto de procedimientos que establecen el mejor método y secuencia para cada proceso. La hoja de trabajo estandarizado ayuda a ilustrar la secuencia de operaciones dentro del proceso, incluyendo el tiempo en se debe realizar la operación. Esta hoja debe colocarse en el área de trabajo.

Los pasos a seguir para llenar esta hoja son:

1. Dibujar el layout del lugar de trabajo sobre la hoja e identificar todos los artículos.
2. Asignar la ubicación de los elementos de trabajo por número.
3. Mostrar la trayectoria de los movimientos.
4. Llenar la hoja con la información indispensable.
5. Colocar la hoja en el área de trabajo.

En la figura 4.6 se muestra un ejemplo de la hoja del trabajo estandarizado.

<b>Análisis de las operaciones</b>	Fecha de inspección			
	Proceso			
	Piezas involucradas			
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time
				
Área del trabajo				
observaciones				

Figura 4.6. Hoja de trabajo estandarizado.

El trabajo estandarizado provee las bases para tener altos niveles de productividad, calidad y seguridad. Los trabajadores desarrollan ideas “*kaizen*” para que continuamente se mejoren estas tres áreas. Aquí se presentan los pasos para la implementación del trabajo estandarizado.

1. Trabajar junto con los operadores para determinar los métodos de trabajo más eficientes y asegurarse de que todos estén de acuerdo. Esto puede que incluya la revisión del sistema propuesto de los elementos de trabajo revisados, con el grupo entero que los utilizará. No es de sorprenderse que las personas unilateralmente impongan nuevos estándares y procedimientos.
2. Use la hoja del trabajo estándar para entender como los tiempos de ciclo de los procesos se comparan con el takt time. Este documento muestra el flujo de los materiales y las personas dentro del proceso.
3. Si el tiempo de la operación es más largo que el tiempo takt time, la operación debe ser mejorada para alcanzar el takt time. Esta puede incluir la asignación de algunos elementos del trabajo a las operaciones que sean más rápidas que le takt time.

## 4.7. 5´S.

Las 5´S forman parte esencial para la implantación de cualquier programa de manufactura, pues implica sumar esfuerzos para lograr beneficios, manteniendo el lugar de trabajo bajo condiciones tales que logre contribuir a la disminución de desperdicios y reprocesos, así como mejorar la moral del personal.

Su importancia radica en mantener un buen ambiente de trabajo, que es crítico para lograra encaminar a una organización hacia la calidad, bajos costos y entregas inmediatas. Además de que la clasificación, organización, limpieza, disciplina y estandarización son aspectos que representan una necesidad importante en cualquier organización. Entonces, las 5´S implican la realización de actividades relativamente simples que se aplican tanto en el área de trabajo, como en la persona y en la empresa misma.

Cabe aclarar que uno de los principales retos de esta metodología es la de promover un cambio de mentalidad hacia la creación de una cultura de autodisciplina y orden.

Dentro de estos beneficios que se obtienen se pueden mencionar:

- Ayuda a los empleados a adquirir la autodisciplina, cuando se genera la autodisciplina el compromiso formal hacia las 5´S siempre está presente.
- Permite resaltar los desperdicios en el área de trabajo; el reconocer problemas es el primer paso para la eliminación.
- Señala anormalidades, como rechazos y excedentes de inventario.
- Reduce movimientos inútiles y trabajos intensos.
- Resuelve importantes problemas de logística, presentes en el área de trabajo de una manera más simple.
- Hace más obvios los problemas relacionados con la calidad.
- Reduce accidentes al eliminar pisos grasosos, sucios y resbaladizos.
- Un lugar limpio y ordenado refleja una buena imagen para el cliente.

En la tabla 4.2 se describen de manera general el concepto, objetivo y las actividades más relevantes a realizar para cada una de las 5´S.

Tabla 4.2. Descripción de las 5'S

Nombre	Significado	Objetivo	Actividades
Seiri Clasificación	Distinguir lo innecesario de lo necesario para trabajar productivamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer un criterio y aplicarlo al eliminar lo innecesario.</li> <li>Practicar la estratificación para establecer prioridades.</li> <li>Ser capaz de manejar problemas de desorden y suciedad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eliminar todas las cosas innecesarias y removerlas del área del trabajo.</li> <li>Aprovechar los lugares que se despejan.</li> <li>Determinar el destino final de todas las cosas que se retienen del entorno laboral.</li> </ul>
Seiton Organización	Consiste en ordenar los diversos artículos que se poseen, de modo que estén disponibles para su uso en cualquier momento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tener un área de trabajo que refleje orden y limpieza.</li> <li>Tener una distribución de planta eficiente.</li> <li>Si incrementa la productividad eliminando desperdicio al tratar de localizar las cosas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emplear un almacenamiento funcional.</li> <li>Ordenar artículos por claves alfanuméricas o numéricas.</li> <li>Determinar lugares de almacenamiento por periodos.</li> </ul>
Seiso Limpieza	Significa quitar la suciedad de todo lo que conforme la estación de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lograr el grado de limpieza adecuado a las necesidades.</li> <li>Lograr un nivel de cero mugre y suciedad.</li> <li>Contribuir en la prevención de fallas en equipos.</li> <li>Mantener siempre condiciones adecuadas de aseo e higiene.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limpiar e inspeccionar equipo, utensilios, comedores, vestidores, casilleros, sanitarios, etc.</li> <li>Integrar la limpieza en las tareas diarias.</li> <li>Asignar tiempo para realizar la limpieza.</li> </ul>
Shitsuke Disciplina	Es el apego a un conjunto de leyes o reglamentos que rigen a una comunidad, empresa o a nuestra propia vida. Orden y control personal	Convertir en hábito el cumplimiento apropiado de los procedimientos de operación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer procedimientos estándares de operación.</li> <li>Facilitar condiciones para que cada empleado ponga en práctica lo aprendido.</li> <li>Establecer un sistema de control visual.</li> <li>Corregir cuando no se cumplan las reglas.</li> <li>Promoción de las "S" en toda la compañía.</li> </ul>
Seikrutsu Estandarización	Regularizar, normalizar o fijar especificaciones sobre algo, a través de normas, procedimientos o reglamentos.	Sincronizar los esfuerzos de todos y hacer que todos actúen al mismo tiempo, con el fin de lograr que los resultados de dichos esfuerzos sean perdurables.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer estándares visuales de tal forma que sean fáciles de seguir.</li> <li>Realizar evaluación con enfoque a la prevención.</li> <li>Establecer actividades que fortalezcan el cumplimiento de las cuatro primeras "S".</li> </ul>

Entonces, las "S" no deben de considerarse como una simple manera para lograr tener limpias y relucientes las superficies de cada una de las áreas y partes que conforman la organización, sino se deben considerar como medio importante para asegurar la permanencia en el mercado en largo plazo.

#### **4.8. Poka Yoke (aprueba de errores).**

Si bien se puede pensar que un defecto y un error es lo mismo, no es así. Los defectos son los resultados y los errores son las causas de los resultados.

Este método fue propuesto formalmente denominado “aprueba de tontos” (fool-proofing). Reconociendo que esta etiqueta podría ofender a muchos trabajadores el termino fue cambiado al término de “poka yoque”, generalmente traducido como “a prueba de errores” (fail-safing). La idea atrás de poka yoke es respetar la inteligencia de los trabajadores, asumiendo las tareas repetitivas o acciones que dependen de la memoria, el poka yoke puede liberar el tiempo y mente de un trabajador para que así se dedique a actividades más creativas o que añaden valor.

##### **4.8.1. Pasos para establecer la herramienta poka yoke.**

1. Identificar artículos por sus características:
  - a) Por peso: Establecer estándares de peso, usar balanza o escala para identificar piezas defectuosas.
  - b) Por dimensiones: Establecer estándares para longitud, anchura, diámetro, etc. Identificar divergencias con los estándares usando pines de plantillas, switches de límite, etc.
  - c) Por su forma: Establecer para característica de forma tales como ángulos, salientes, curvatura o posiciones de agujeros, identificar divergencias con estándares con computadores de limite, vástagos de posición y plantillas, etc.
2. Detectar desviación de procedimientos o procesos omitidos:
  - a) Método de secuencia de procesos: El trabajo siguiente no puede realizarse si las operaciones de la maquina o el trabajador durante el proceso, si no siguen los procedimientos estándares.
  - b) Método de secuencia proceso a proceso: Las operaciones no pueden realizarse si se ha omitido alguno de una serie de procesos y no se ha seguido los procedimientos regulares.
3. Detectar desviaciones de valores fijos
  - a) Uso de contador: Se usa como referencia un número fijo, por ejemplo, un número de operaciones o piezas. Si el número actual difiere de la referencia, suena una alarma.
  - b) Método de piezas sobrantes: Cuando un número de piezas se monta en un lote, se prepara el número exacto de piezas necesarias; cuando se completa el lote, un sobrante de piezas indica un error.

- c) Detección de condición crítica: Se mide una condición de fabricación crítica, tal como presión, corriente, temperatura o tiempo. El trabajo no puede proceder si el valor no está dentro de un valor predeterminado.

#### ***4.8.2. Los principios de mejora básica para el poka yoke.***

1. Construya la calidad en los procesos.
2. Elimine todos los errores y defectos inadvertidos.
3. Interrumpa el hacerlo mal y comience a hacer lo correcto.
4. No piense en excusas, piense como hacerlo bien.
5. Un 60% de probabilidades de éxito son suficientes
6. Las equivocaciones y defectos podrán reducirse a cero si todos trabajan juntos para su eliminación.
7. Diez cabezas piensan mejor que una.
8. Investigue la verdadera causa, usando los cinco ¿Por qué? Y un ¿Cómo?

#### ***4.9. Kaizen.***

Es el término japonés para el mejoramiento continuo, es el proceso para hacer mejoras incrementalmente, no importa lo pequeñas que sean, y alcanzar las metas fijadas y eliminar todos los desperdicios, que generan un costo sin agregar valor.

Kaizen enseña a trabajar a los individuos en grupos pequeños, a solucionar problemas, documentando y mejorando los procesos, recolectando y analizando datos, y manejarse por sí mismos.

Kaizen significa mejoramiento. Por otra parte, significa mejoramiento continuo en la vida personal, familiar, social, y de trabajo. Cuando se aplica al lugar del trabajo al lugar de trabajo, kaizen significa mejoramiento continuo que involucra a todos: Gerentes y trabajadores por igual.

La esencia de las prácticas administrativas, ya sean de mejoramiento de la productividad, actividades para el control total de la calidad, círculos de control de calidad o relaciones laborales, se pueden reducirse a una palabra *kaizen*. Kaizen es el concepto que cubre estas prácticas que alcanzaron fama mundial.

#### 4.10. *Takt time.*

De la información que se tenga sobre la demanda del cliente, se debe determinar el takt time, o el ritmo de producción que marca el cliente. “Takt” es una palabra en alemán que significa “ritmo”. Entonces, esto quiere decir que el takt time marca el ritmo de lo que el cliente esta demandando, al cual la compañía requiere producir su producto con el fin de satisfacerlo. Producir con el takt time significa que los ritmos de producción y de ventas están sincronizados, que es una de las metas de la manufactura esbelta.

El takt time se calcula dividiendo el tiempo de producción disponible (o el tiempo disponible de trabajo por turno) entre la cantidad total requerida (o a demanda del cliente por turno).

$$Takt\ time = \frac{\text{tiempo total disponible por turno (en segundos)}}{\text{demanda del cliente por turno}}$$

Producir con el takt time suena sencillo, pero requiere concentrar esfuerzos en:

- Proveer rápida respuesta (dentro del takt time) a los problemas que se presenten en las áreas de producción y de apoyo.
- Eliminar las causas de los tiempos caídos o fallas no programadas.
- Eliminar los tiempos de los cambios, dentro de los pasos que agregan valor o hacerlo en el tiempo takt.

### 5. *Cuestionario introductorio.*

#### *¿Qué es la ergonomía y cual es su objetivo?*

Es la actividad de carácter multidisciplinaria encargada de la conducta y las actividades, con la finalidad de adecuar los productos, sistemas, puestos de trabajo y entornos, a las características, limitaciones y necesidades, buscando optimizar su eficacia, seguridad y confort.

El objetivo de la ergonomía es adaptar el trabajo a las capacidades y posibilidades del ser humano.

Todos los elementos de trabajo ergonómicos se diseñan teniendo en cuenta quiénes van a utilizarlos.

### *¿Qué es la economía de movimientos y cuales son sus principios?*

Es ejecutar movimientos con un recorrido directo, ya que de esta manera evitamos los movimientos innecesarios o excesivamente amplios.

#### Principios de economía de movimientos

- Utilización del cuerpo humano.
  1. Las dos manos deben comenzar y completar sus movimientos a la vez.
  2. Nunca deben estar inactivas las dos manos a la vez, excepto durante los periodos de descanso.
  3. Los movimientos de los brazos deben realizarse simultáneamente y en direcciones opuestas y simétricas.
  4. Los movimientos de las manos y del cuerpo deben caer dentro de la clase mas baja con que sea posible ejecutar satisfactoriamente el trabajo.
  5. Debe aprovecharse el impulso cuando favorece al obrero, pero debe reducirse a un mínimo si hay que contrarrestarlo con un esfuerzo muscular.
  6. Son preferibles los movimientos continuos y curvos a los movimientos rectos, en los que hay cambios de dirección repentinos y bruscos.
  7. Los movimientos de oscilación libre son mas rápidos, mas fáciles y mas exactos que los restringidos o controlados.
  8. El ritmo es esencial para la ejecución suave y automática de las operaciones repetitivas, y el trabajo debe disponerse de modo que se pueda hacer con un ritmo fácil y natural, siempre que sea posible.
  9. El trabajo debe disponerse de modo que los ojos se muevan dentro de los límites cómodos y no sea necesario cambiar de foco a menudo.
- Distribución del lugar de trabajo.
  - 1) Debe haber un sitio definido y fijo para todas las herramientas y materiales, con objeto de que se adquieran hábitos.
  - 2) Las herramientas y materiales deben colocarse de antemano donde se necesitaran, para no tener que buscarlos.
  - 3) Deben utilizarse dispositivos y medios de abastecimiento por gravedad, para que el material llegue tan cerca como sea posible del punto de utilización.
  - 4) Las herramientas, materiales y mandos deben situarse dentro del área máxima de trabajo y tan cerca del trabajador como sea posible.
  - 5) Los materiales y herramientas deben situarse en la forma que a los contenedores se les de el mejor orden posible.
  - 6) Deben utilizarse, siempre que sea posible, eyectores y dispositivos que permitan el operario dejar caer el trabajo terminado, sin necesidad de utilizarlas manos para despacharlo.

- 7) Deben preverse medios para que la luz sea buena, y facilitarle el obrero una silla del tipo y altura adecuados para que se siente en buena postura. La altura de la superficie de trabajo y la del asiento deberán combinarse de forma que permitan al operario trabajar alternativamente sentado o de pie.
- 8) El color de la superficie de trabajo deberá contrarrestar con el de la tarea que realiza, para reducir así la fatiga de la vista.
- Modelo de las maquinas y herramientas.
  1. Debe evitarse que las manos estén ocupadas sosteniendo la pieza cuando esta pueda sujetarse con una plantilla, bazo o dispositivo accionado por el pie.
  2. Siempre que sea posible deben combinarse dos o más piezas.
  3. Siempre que cada dedo realice un movimiento específico, como para escribir a maquina, debe distribuirse la carga de acuerdo con la capacidad inherente a cada dedo.
  4. Los mangos, como los utilizados en las manivelas y destornilladores grandes, deben diseñarse para que la mayor cantidad posible de la superficie este en contacto con la mano. Es lago de especial importancia cuando hay que ejercer mucha fuerza sobre le mango.
  5. Las palancas, barras cruzadas y volantes de mano debe situare en posiciones que permitan al operario con un mínimo de cambio de posición del cuerpo y un máximo de ventajas mecánicas.

*¿Cuál es la clasificación de los movimientos?*

La clasificación se presenta en la siguiente tabla:

Clase	Punto de apoyo	Partes del cuerpo empleadas
1	Nudillos	Dedo
2	Muñeca	mano y dedos
3	codo	antebrazo, mano y dedo
4	Hombro	Brazo, antebrazo, mano y dedo
5	Tronco	Torso, brazo, antebrazo, mano y dedo

### *¿Qué es el flujo continuo?*

El flujo continuo se puede resumir en un simple enunciado: “mover uno, hacer uno o mover un pequeño lote, hacer un pequeño lote”.

El procesamiento con flujo continuo implica producir o transportar productos de acuerdo con tres principios clave:

- Solamente lo que se necesita.
- Justo cuando se necesita.
- En la cantidad exacta que se necesita.

### *¿Qué es el trabajo estandarizado?*

El trabajo estandarizado es un conjunto de procedimientos que establecen el mejor método y secuencia para cada proceso.

### *¿Cuáles son las 5'S?*

- Seiri - Clasificación
- Seion - Organización
- Seisu - Limpieza
- Shitsuke - Disciplina
- Seikitsu – Estandarización

### *¿Qué es el poka yoke?*

Poka-Yoke es una herramienta que significa “a prueba de errores”. Lo que se busca con esta forma es diseñar los procesos para eliminar o evitar equivocaciones ya sean de ámbito humano o automatizado. Este sistema se puede implantar también para facilitar la detección de errores.

## 6. Desarrollo.

### 6.1. Corrección de problemas de la línea de producción.

Se recopila la información de las practicas anteriores, y mediante un diagrama de Pareto, después se analizan lo errores de ensamble más frecuentes.

En la tabla 4.3 se muestra los errores y la frecuencia, así como el porcentaje que representa.

Tabla 4.3. Tabla de frecuencias

Descripción del error	Frecuencia del error	Porcentaje
No realizo el ensamble de la pieza	15	22.06%
Ensambo la pieza al revés	29	42.65%
Ensambo una pieza por otra	16	23.53%
Realizo un ensamble erróneo	8	11.76%
Totales	68	100%

Con esta información se construye el diagrama de Pareto, este diagrama se ilustra en la figura 4.7:

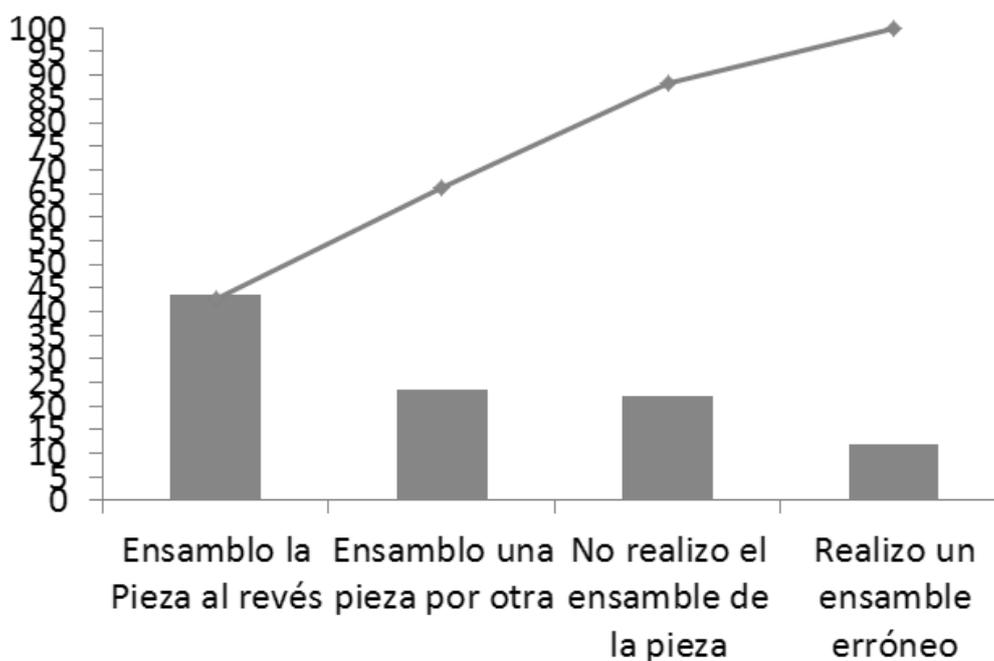


Figura 4.7. Diagrama de Pareto.

Mediante este estudio se observa que los problemas principales son:

- Las piezas se ensamblan al revés.
- Se ensambla una pieza en lugar de otra.

Para dar solución a estos problemas, se ha seleccionado el método de “*tormenta de ideas*”, ya que esta técnica es fácil de aplicar y su desarrollo no consume mucho tiempo.

Los pasos para la aplicación de esta técnica son las siguientes:

1. Elegir un coordinador.

El grupo de trabajo o el responsable del estudio designarán a una persona para dirigir y coordinar la sesión de Tormenta de Ideas.

2. Definición del tema del tema de la tormenta de ideas.

El enunciado del tema a tratar se definirá con anterioridad a la realización de la sesión de trabajo. Esto permite la preparación de la misma por los componentes del grupo.

El enunciado debería ser:

- Específico

Para que no sea interpretado de forma diferente por los componentes del grupo de trabajo, y para que las aportaciones se concentren sobre el verdadero tema a analizar.

- No sesgado

Para no excluir posibles líneas de análisis sobre el tema a estudiar.

Es conveniente definirlo por escrito, especificando lo que incluye y excluye.

3. Preparar la logística de la sesión.

Preparar, con anterioridad a la sesión, superficies y material de escritura idóneos. Tiene las siguientes ventajas:

- Permite escribir todas las ideas aportadas de forma que sean claramente visibles a lo largo de la sesión.
- Ayuda a mantener un ritmo constante durante toda la sección.
- Favorecer el trabajo de ordenación y clasificación de ideas.

#### 4. Introducción de la sesión.

Para la introducción del ejercicio se debe hacer:

- Escribir el enunciado del tema de forma que sea visible a todos los participantes durante la sesión.
- Comentar las reglas conceptuales de la tormenta de ideas:
  - ✓ El pensamiento debe ser creativo.
  - ✓ No se admiten críticas y comentarios a las ideas ajenas, ni se admiten explicaciones a las propias. Se anotaran todas las ideas incluso las duplicadas.
  - ✓ Se debe hacer asociación de ideas, esto es, modificarlas, ampliarlas, combinarlas o crear otras nuevas por asociación.
- Comentar las reglas prácticas:
  - ✓ Las aportaciones se harán por turno.
  - ✓ Se aportara solo una idea por turno, y así no olvidar ideas entre turnos, es conveniente anotarlas.
  - ✓ Cuando en un turno no se disponga de ideas se continuará con la persona siguiente.

#### 5. Preparación de la atmosfera adecuada.

Cuando la actitud o las condiciones del grupo no son las adecuadas se puede realizar una tormenta de ideas de entrenamiento:

- Elegir como tema neutral una que distienda el ambiente de la sesión.
- La duración será breve, de 5 a 10 minutos.

#### 6. Comienzo y desarrollo de la tormenta de ideas.

Establecer el turno a seguir señalado el participante debe comenzar.

Iniciar el proceso aportando las ideas por turno y observando las reglas anteriormente descritas.

Cuando se llega a un punto del desarrollo en que el volumen de ideas aportado decrece apreciablemente, se hará una ordenación o una lectura de las ideas aportadas, produciéndose generalmente una segunda fase creativa.

#### 7. Conclusión de la tormenta de ideas.

La tormenta de ideas se dará por finalizada cuando ningún participante tenga ideas que aportar.

El resultado de la sesión será una lista de ideas que contiene, generalmente, mas ideas nuevas e innovaciones que las listas obtenidas por otros medios.

8. Tratamiento de ideas.

Para su correcta interpretación, la lista de ideas obtenida, se tratara de la siguiente forma.

- Explicar las ideas que ofrecen dudas a algún participante.
  - Eliminar ideas duplicadas.
  - Agrupar las ideas según criterios de ordenación adecuados, para poder simplificar el desarrollo del trabajo posterior.
9. Seleccionar la idea que más de adapte a las condiciones descritas en el paso 1 y resuelva el problema de manera más eficiente.
10. Aplicar la idea seleccionada.

Siguiendo los pasos anteriores para solucionar los dos problemas mas relevantes obtenidos por el diagrama de Pareto, se obtuvieron las siguientes soluciones que serán aplicadas a la línea de ensamble.

- Colocar en contenedores de diferente color, las piezas que causan confusión al momento de ensamblar.
- Colocar una marca a las piezas para indicar la forma y posición de ensamble.

## ***6.2. Definición de los proyectos kaizen.***

### ***6.2.1. Cálculo del tiempo takt.***

El cálculo de este tiempo tiene como finalidad balancear los tiempos de las estaciones de trabajo a un solo tiempo asignado. Este tiempo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Takt\ time = \frac{tiempo\ total\ disponible\ por\ turno\ (en\ segundos)}{demanda\ del\ cliente\ por\ turno} \quad Ec. 4.1$$

Recordando de las prácticas anteriores, se calcula el tiempo de producción disponible y el tiempo takt.

El tiempo de producción disponible al día se obtiene de la siguiente manera:

- Duración de la jornada: 9 horas x 60 minutos = 540 minutos
- Dos descansos de 20 minutos cada uno: 20 minutos x 2 = -40 minutos
- Dos juntas de 10 minutos cada una. 20 minutos x 2 = -20 minutos
- Tiempo de producción disponible: 540-60 = 480 minutos = 28800 segundos.

Si la demanda diaria promedio es de 967 unidades, el tiempo takt queda de la siguiente manera:

$$Takt\ time = \frac{28800}{967} = 29.78\ segundos$$

### 6.2.2. *Balaceo de línea.*

Para realizar el balanceo de línea se hará uso de la grafica de balanceo de operadores (OBC), para realizar esta grafica se deben seguir los siguientes pasos:

Los pasos para crear una grafica OBC son las siguientes:

1. Determinar el tiempo de ciclo actual y los elementos de trabajo asignados.
2. Crear una grafica de barra que de una mejor representación de las condiciones.
3. Para determinar el número de estaciones de trabajo se divide el tiempo de ciclo total del producto entre el takt time.

$$No.\ de\ estaciones\ de\ trabajo = \frac{(TC)}{takt\ time} \quad Ec\ 4.2$$

En la figura 4.8 se muestra la grafica OBC, donde se ilustran los procesos realizados antes de la aplicación de los proyectos kaizen. Mientras que en la figura 4.11 se muestra los procesos realizados después de la aplicación de los proyectos kaizen.

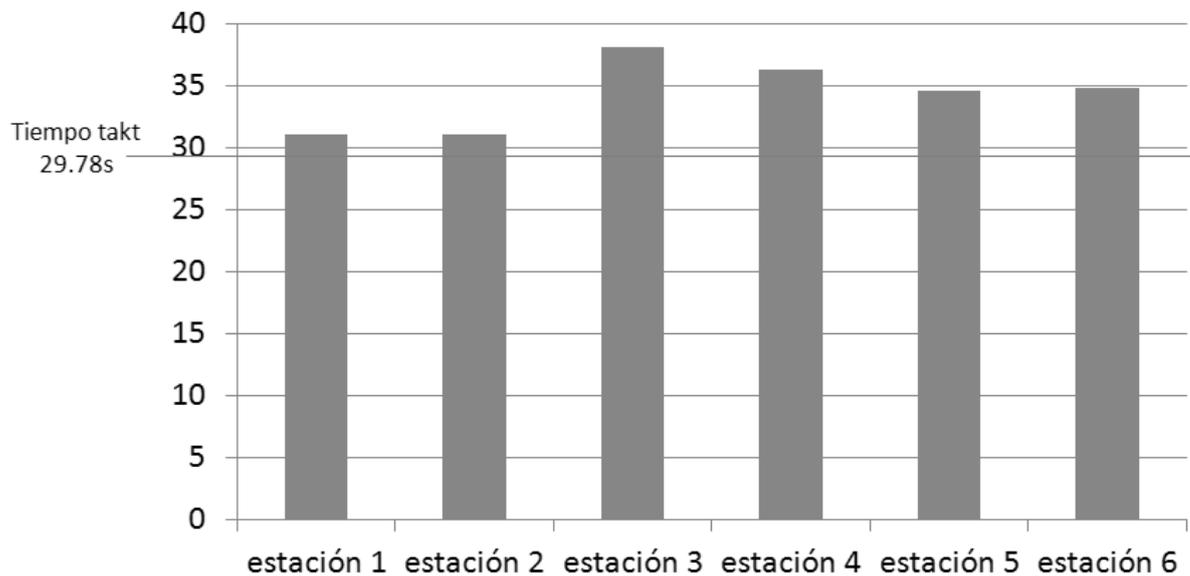


Figura 4.8. Grafica del balanceo de operadores. Estado actual.

Como todos los tiempos están por encima del tiempo asignado por operación, se calcula el número de estaciones de trabajo necesarias, mediante la ecuación 4.2.

$$\text{No. de estaciones de trabajo} = \frac{205.86}{29.78} = 6.78 \approx 7 \text{ estaciones de trabajo.}$$

- *Nota: el tiempo ciclo utilizado para el calculo del número de estaciones de trabajo es la suma de los valores promedios obtenidos durante el desarrollo de la practica 3.*

Este resultado indica, que para reducir el tiempo por operación o *takt time* se necesita anexar una estación más, para ello se debe crear una nueva distribución de planta y de trabajo en cada estación.

### 6.2.3. *Layout de la planta.*

Como el número de estaciones de trabajo se ha modificado, se tendrá que trabajar con otra línea de ensamble, para que esta modificación sea lo más eficiente posible, ya que con la línea de ensamble anterior las estaciones de trabajo son fijas. Para establecer un nuevo layout en la línea de ensamble nueva y para que las estaciones de trabajo tengan el mismo tiempo de transporte y suponiendo que las piezas salgan en el tiempo takt asignado, no habrán retrasos por tiempo de transporte ni tiempo de ocio.

Es este caso para establecer la correcta distribución de acuerdo a lo mencionado anteriormente, se calcula la separación de las estaciones de trabajo mediante la ecuación 4.3.

$$\text{separacion entre estaciones} = \frac{L_{\text{línea}} - [(No.de estaciones)(A_{\text{estación}})]}{No.de estaciones} \quad \text{Ec. 4.3}$$

Donde:

$L_{\text{línea}}$ : Es la longitud de la línea de ensamble.

$A_{\text{estación}}$ : Es el ancho de la mesa de trabajo o de la estación.

Haciendo uso de la ecuación anterior se conoce la separación que deben tener las estaciones de trabajo, para tener el mismo tiempo de transporte.

$$\text{separacion entre estaciones} = \frac{9.06 - 7(0.74)}{7} = 0.5542 \approx 0.55m$$

En la figura 4.9 se muestra la nueva distribución de la línea de producción.

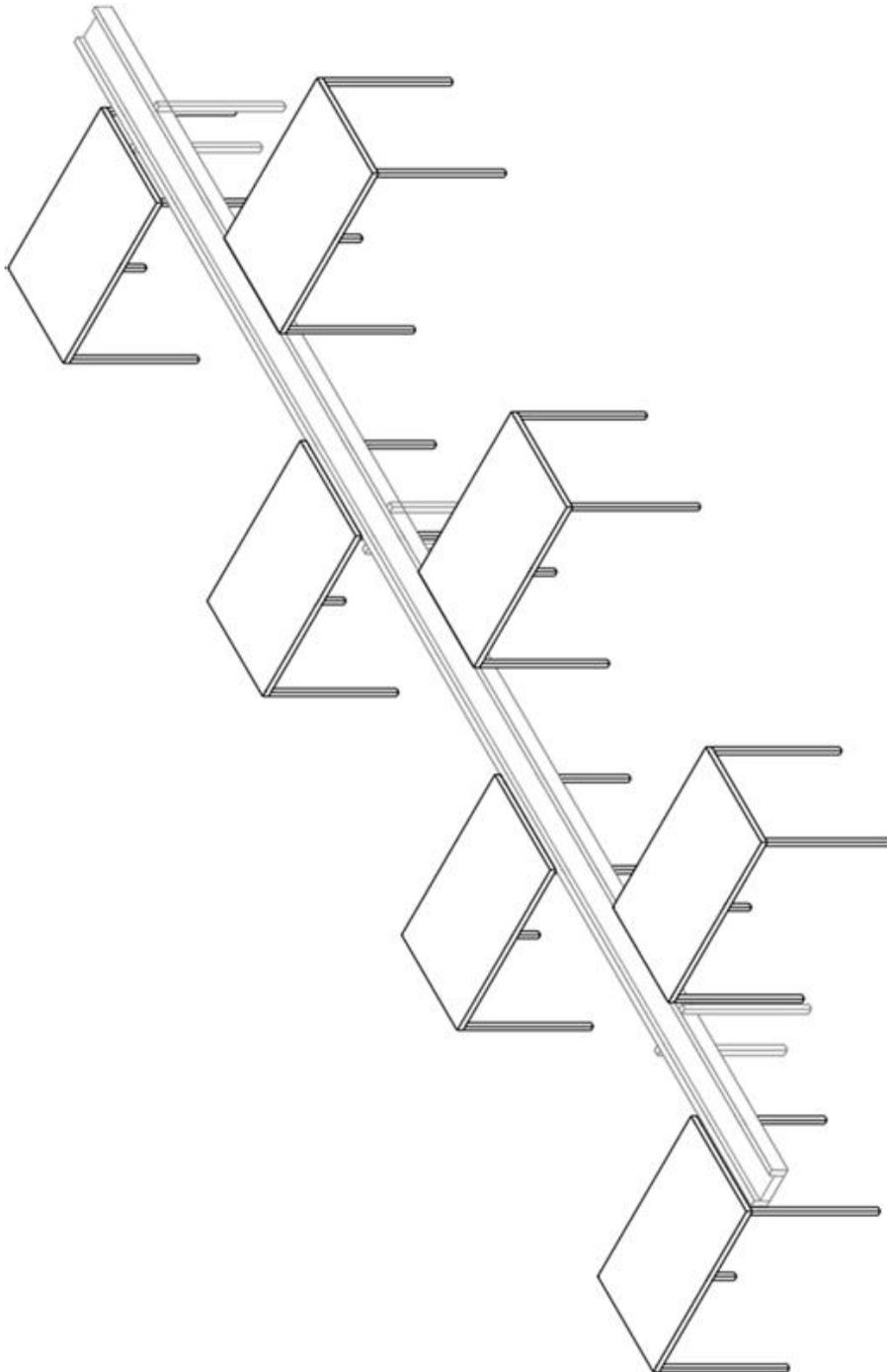


Figura 4.9. Distribución de la línea de ensamble "Verde".

## 6.2.4. *Diseño y distribución de estaciones de trabajo.*

### 6.2.4.1. *Factores ergonómicos.*

Al no poder modificar las condiciones del entorno del operario, este estudio se enfocará a la ergonomía de la distribución dentro de la estación del trabajo, es decir la distribución del material y la economía de movimientos en el área de trabajo.

Partiendo de la información otorgada por las secciones 1.2 y 1.3, se establece un arreglo con dos estantes de madera, que cumpla con los principios de la economía de movimientos y que sea ergonómico correcto, en la figura 4.10 se muestra un arreglo que cumple estas condiciones, tomando en cuenta el mobiliario disponible, además de reducir al máximo el nivel de movimientos utilizados para realizar cada operación.

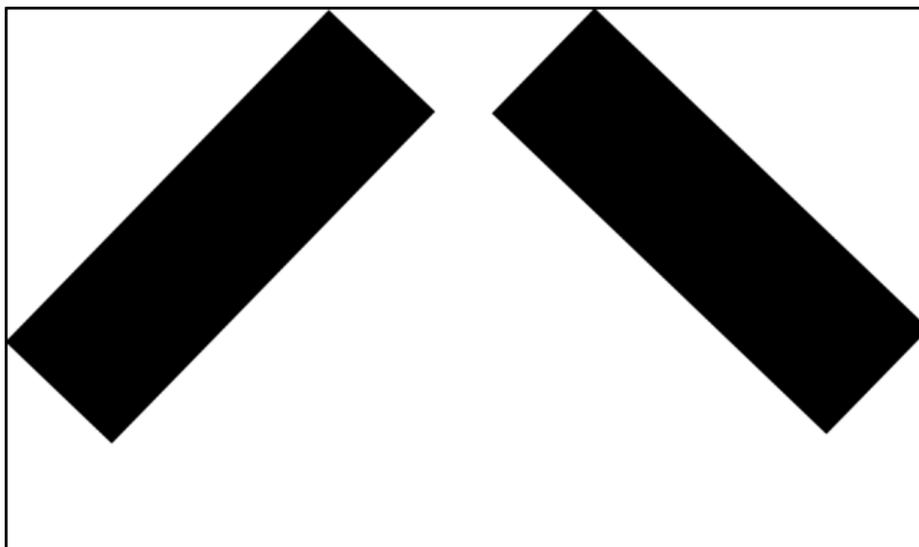


Figura 4.10. Disposición de los contenedores en la mesa de trabajo.

Además de esto, para evitar el exceso de fatiga y por la altura de la mesa de trabajo, se ha decidido que las operaciones se realizan en posición sentada.

### 6.2.4.2. Estandarización del trabajo.

Primeramente se establece las operaciones a realizar en cada puesto de trabajo, para ello se utiliza la experiencia de las practicas anteriores y tomando en cuenta los problemas mencionados en la sección 3.3, para evitar que se cometan de nuevo. En la tabla 4.4 se establecen las operaciones realizadas, las piezas involucradas en cada estación, además del tiempo promedio que se realiza cada operación, y en la figura 4.11 se ilustra la grafica OBC en estado futuro:

Tabla 4.4. Distribución de piezas y tiempo requerido para realizar el ensamble.

Operación	Piezas involucradas	Tiempo de operación en segundos
Z1	E0, C0 y C1	30.11
Z2	P0, C0, H0 y A0	29.40
Z3	C2, T0 y W0	29.70
Z4	M0, Y0 y B0	30.20
Z5	J0 y M0	29.35
Z6	J0, J1, F0 y N0	29.68
Z7	MO, R0, S0, X0 y L0	30.05
<b>Total</b>		208.49

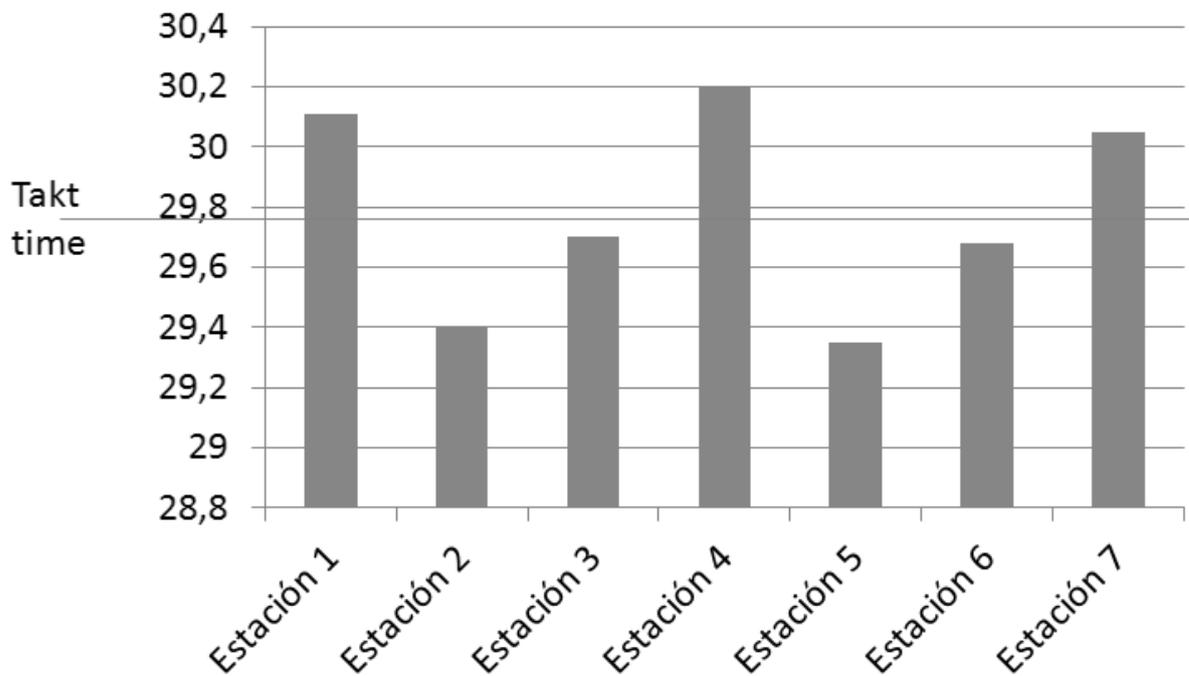


Figura 4.11. Grafica de balanceo de operadores. Estado futuro.

*\*Nota: Se ha elegido este sistema de producción, debido a que este sistema fue el mejor propuesto durante la puesta en prueba de esta práctica. Además que la diferencia entre el tiempo más grande con respecto al más pequeño es de 0.8 segundos.*

Para que los trabajadores sean capaces de producir dentro del tiempo takt y mejorar consistentemente sus actividades, se debe establecer una forma única de realizar las operaciones de manera que los ensambles y el tiempo de estos, sean exactamente iguales al comienzo de la jornada laboral y al final de la misma, para lograr esto se debe implantar una herramienta llamada trabajo estandarizado.

El trabajo estandarizado es un conjunto de procedimientos que establecen el mejor método y secuencia para cada proceso. La hoja de trabajo estandarizado ayuda a ilustrar la secuencia de operaciones dentro del proceso, incluyendo el tiempo en que se debe realizar la operación. Esta hoja debe colocarse en el área de trabajo.

Los pasos a seguir para llenar esta hoja son:

1. Dibujar el layout del lugar de trabajo sobre la hoja e identificar todos los artículos.
2. Asignar la ubicación de los elementos de trabajo por número.
3. Mostrar la trayectoria de los movimientos.
4. Llenar la hoja con la información indispensable.
5. Colocar la hoja en el área de trabajo.

El trabajo estandarizado provee las bases para tener altos niveles de productividad, calidad y seguridad. Los trabajadores desarrollan ideas “kaizen” para que continuamente se mejoren estas tres áreas. Aquí se presentan los pasos para la implementación del trabajo estandarizado.

1. Trabajar junto con los operadores para determinar los métodos de trabajo mas eficientes y asegurarse de que todos estén de acuerdo. Esto puede que incluya la revisión del sistema propuesto de los elementos de trabajo revisados, con el grupo entero que los utilizara. No es de sorprenderse que las personas unilateralmente impongan nuevos estándares y procedimientos.
2. Use la hoja del trabajo estándar para entender como los tiempos de ciclo de los procesos se comparan con el takt time. Este documento muestra el flujo de los materiales y las personas dentro del proceso.
3. Si el tiempo de la operación es mas largo que el tiempo takt time, la operación debe ser mejorada para alcanzar el takt time. Esta puede incluir la asignación de algunos elementos del trabajo a las operaciones que sean mas rápidas que le takt time.

Siguiendo el formato mostrado en la figura 4.6, se realiza la elaboración de este para cada una de las estaciones.

<b>Análisis de las operaciones</b>	Fecha de inspección			
	Proceso			
	Piezas involucradas			
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time
				
Área del trabajo				
observaciones				

Figura 4.6. Hoja de trabajo estandarizado.

En las siguientes figuras se muestran las diferentes hojas del trabajo estandarizado de cada estación.

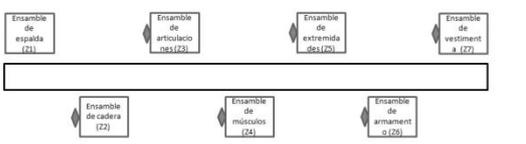
<b>Análisis de las operaciones</b>	Fecha de inspección		3 de enero 2013	
	Proceso		Z1 (ensamble de espalda)	
	Piezas involucradas		E0	1
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	CO	4
			C1	1
			Numero de piezas en WIP	Takt time
			0	29.78s
Área del trabajo				
				
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>La inspección se realiza cuando se recibe el ensamble de la estación anterior inmediata.</li> <li>No existen los inventarios en proceso.</li> <li>Colocar sobre la mesa de trabajo la pieza E0, y ahí mismo realizar las operaciones subsiguientes.</li> </ul>			

Figura 4.12. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 1.

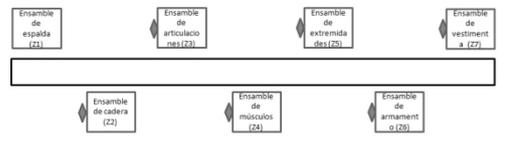
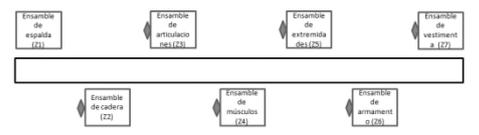
<b>Análisis de las operaciones</b>	Fecha de inspección		3 de enero 2013	
	Proceso		Z2 (ensamble de cadera)	
	Piezas involucradas		AO	2
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	CO	2
			HO	1
			PO	1
			0	29.78s
Área del trabajo				
				
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>La inspección se realiza cuando se recibe el ensamble de la estación anterior inmediata.</li> <li>En caso de existir una falla con el ensamble Z1, activar la señal de falla e informar inmediatamente a la persona a cargo.</li> <li>No existen los inventarios en proceso.</li> <li>Sujetar el ensamble con la mano derecha y con la mano izquierda colocar la pieza PO. Con las dos manos presionar la pieza hasta oír un "click".</li> <li>Tomar el ensamble resultante con la mano izquierda, mientras que la mano derecha realiza las demás operaciones.</li> <li>Ensamblar las piezas AO al ultimo.</li> <li>Colocar el ensamble con la mano derecha en la banda transportadora.</li> </ul>			

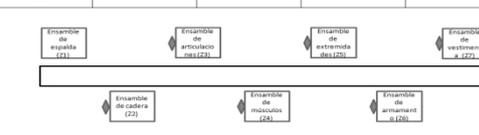
Figura 4.13. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 2.

Análisis de las operaciones	Fecha de inspección		3 de enero 2013	
	Proceso		Z3 (ensamble de articulaciones)	
	Piezas involucradas		C2	4
			T0	1
			W0	1
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time
◆	+	▲	0	29.78s
Área del trabajo				
				
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>La inspección se realiza cuando se recibe el ensamble de la estación anterior inmediata.</li> <li>En caso de existir una falla con el ensamble Z2, activar la señal de falla e informar inmediatamente a la persona a cargo.</li> <li>No existen los inventarios en proceso.</li> <li>Tomar el ensamble con la mano izquierda, mientras se sostiene en ensamble, se ensamblan las piezas con la mano derecha.</li> <li>Para el ensamble de las piezas C2, girar la muñeca para mover el ensamble y realizar la operación mas fácilmente.</li> <li>Colocar el ensamble con la mano izquierda en la banda transportadora.</li> </ul>			

**Figura 4.14. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 3.**

Análisis de las operaciones	Fecha de inspección		3 de enero 2013	
	Proceso		Z4 (ensamble de músculos)	
	Piezas involucradas		BO	1
			MO	4
			YO	1
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time
◆	+	▲	0	29.78s
Área del trabajo				
				
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>La inspección se realiza cuando se recibe el ensamble de la estación anterior inmediata.</li> <li>En caso de existir una falla con el ensamble Z3, activar la señal de falla e informar inmediatamente a la persona a cargo.</li> <li>No existen los inventarios en proceso.</li> <li>Tomar el ensamble con la mano derecha, mientras se sostiene en ensamble, se ensamblan las piezas con la mano izquierda.</li> <li>Para el ensamble de las piezas MO, girar la muñeca para mover el ensamble y realizar la operación mas fácilmente.</li> <li>Colocar el ensamble con la mano derecha en la banda transportadora.</li> </ul>			

**Figura 4.15. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 4.**

Análisis de las operaciones	Fecha de inspección		3 de enero del 2013	
	proceso		Z5 (ensamble de extremidades)	
	Piezas involucradas		JO	3
			MO	3
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time
◆	+	▲	0	28.78s
Área del trabajo				
				
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>La inspección se realiza cuando se recibe de la estación anterior inmediata.</li> <li>en caso de existir una falla con el ensamble Z4, activar la señal de falla e informar inmediatamente a la persona a cargo.</li> <li>No existen inventarios en proceso.</li> <li>Durante el tiempo de transporte del ensamble Z4, se realiza la unión de las piezas JO y MO.</li> <li>Tomar el ensamble Z4 con la mano izquierda, mientras se sostiene en este, se ensamblan las piezas que fueron unidas con anterioridad.</li> <li>Para el ensamble de estas piezas, se debe girar la muñeca para colocar el ensamble en la posición correcta y realizar la operación con mas facilidad.</li> <li>Colocar el ensamble con la mano izquierda en la banda transportadora</li> </ul>			

**Figura 4.16. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 5.**

Análisis de las operaciones	Fecha de inspección		3 de enero 2013	
	Proceso		Z6 (ensamble de armamento)	
	Piezas involucradas		FO	2
			JO	2
			J1	1
			NO	1
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time
◆	+	▲	0	29.78s
Área del trabajo				
				
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>La inspección se realiza cuando se recibe el ensamble de la estación anterior inmediata.</li> <li>En caso de existir una falla con el ensamble Z5, activar la señal de falla e informar inmediatamente a la persona a cargo.</li> <li>No existen los inventarios en proceso.</li> <li>Tomar el ensamble con la mano derecha, mientras se sostiene en este, se realizan los ensambles de las piezas .</li> <li>Para el ensamble de estas piezas, se debe girar la muñeca para mover el ensamble y realizar la operación mas fácilmente.</li> <li>Colocar el ensamble con la mano izquierda en la banda transportadora.</li> </ul>			

**Figura 4.17. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 6.**

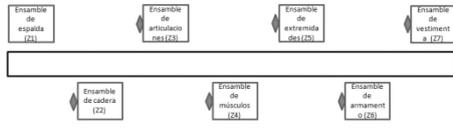
<b>Análisis de las operaciones</b>	Fecha de inspección		3 de enero 2013	
	Proceso		Z7 (ensamble de armamento)	
	Piezas involucradas		LO	2
			MO	1
			RO	1
SO			1	
		XO	1	
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time
◆	+	▲	0	29.78s
<b>Área del trabajo</b>				
				
<b>Observaciones</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>La inspección se realiza cuando se recibe el ensamble de la estación anterior inmediata.</li> <li>En caso de existir una falla con el ensamble Z6, activar la señal de falla e informar inmediatamente a la persona a cargo.</li> <li>No existen los inventarios en proceso.</li> <li>Tomar el ensamble con la mano izquierda, mientras se sostiene en este, se realizan los ensambles de las piezas.</li> <li>Para el ensamble de estas piezas, se debe girar la muñeca para mover el ensamble y realizar la operación mas fácilmente.</li> <li>Colocar el ensamble con la mano derecha en la banda transportadora.</li> </ul>				

Figura 4.18. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 7.

### 6.3. Implementación y análisis de los proyectos kaizen.

En esta sección se concentrara en el calcular los siguientes aspectos:

- Control estadístico de la calidad.
- Diagrama de Gantt.
- Costos de producción.

Con el fin de observar si los proyectos kaizen han funcionado, y se logra satisfacer la demanda del cliente, que con el sistema de producción anterior no era posible.

#### 6.3.1. Control estadístico de calidad.

Se realiza este estudio para saber si las estaciones de trabajo están bajo control y funcionan bajo los estándares de calidad ya establecidos, posteriormente van a ser comparado con el estudio realizado en a práctica 3.

- La desviación estándar permitida es de 2.
- El rango óptimo es de 2 segundos.
- El número de muestras a estudiar serán de 16.
- El tamaño de cada muestra será de 5 mediciones cada una.

- Se utilizara un nivel de confianza ( $z$ ) igual a 3 o del 99.7%.

Se calculan los coeficientes según se enlistan en la tabla 3.1. En este caso al tener una muestra de tamaño 5 los coeficientes a utilizar serán:

$A_2$ : 0.58

$D_3$ : 0

$D_4$ : 2.11

Limites de control para la carta  $\bar{X}$

*Limite de control superior (LCS):*  $29.78 + 0.58(2) = 30.94$

*Limite de control inferior (LCI):*  $29.78 - 0.58(2) = 28.62$

Limites de control para el rango (R).

*Limite de control superior (LCS):*  $2.11(2) = 4.22$

*Limite de control inferior (LCI):*  $0(2) = 0$

Una vez que se establecieron los límites, se realiza el análisis de las estaciones de trabajo. Los análisis de las estaciones de trabajo se presentan a continuación.

Estación 1.

En la tabla 4.5 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

Tabla 4.5. Muestreo de tiempos de la estación 1.

Muestreo estación 1							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	30.46	30.41	30.24	30.22	29.21	30.11	1.25
2	29.46	29.26	29.28	29.61	29.32	29.39	0.35
3	29.63	29.74	29.58	29.78	29.64	29.67	0.20
4	30.16	30.34	29.96	30.29	30.26	30.20	0.38
5	29.29	29.38	29.38	29.32	29.37	29.35	0.09
6	30.49	30.48	30.48	29.78	30.48	30.34	0.71
7	29.98	30.89	30.48	30.41	30.76	30.50	0.91
8	29.94	30.41	30.93	30.59	30.48	30.47	0.99
9	30.09	29.48	29.48	30.48	29.43	29.79	1.05
10	30.92	30.48	29.48	30.48	30.47	30.37	1.44
11	30.18	30.49	29.16	30.64	29.48	29.99	1.48
12	30.19	30.89	29.48	30.86	29.45	30.17	1.44
13	30.65	30.88	29.89	30.45	30.78	30.53	0.99
14	29.86	30.46	29.48	30.48	30.49	30.15	1.01
15	29.48	30.49	29.36	30.69	30.54	30.11	1.33
16	29.48	30.48	29.35	30.44	29.48	29.85	1.13
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 30,107$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 0.922$

En la figura 4.19 se muestra las cartas de control de la estación 1.

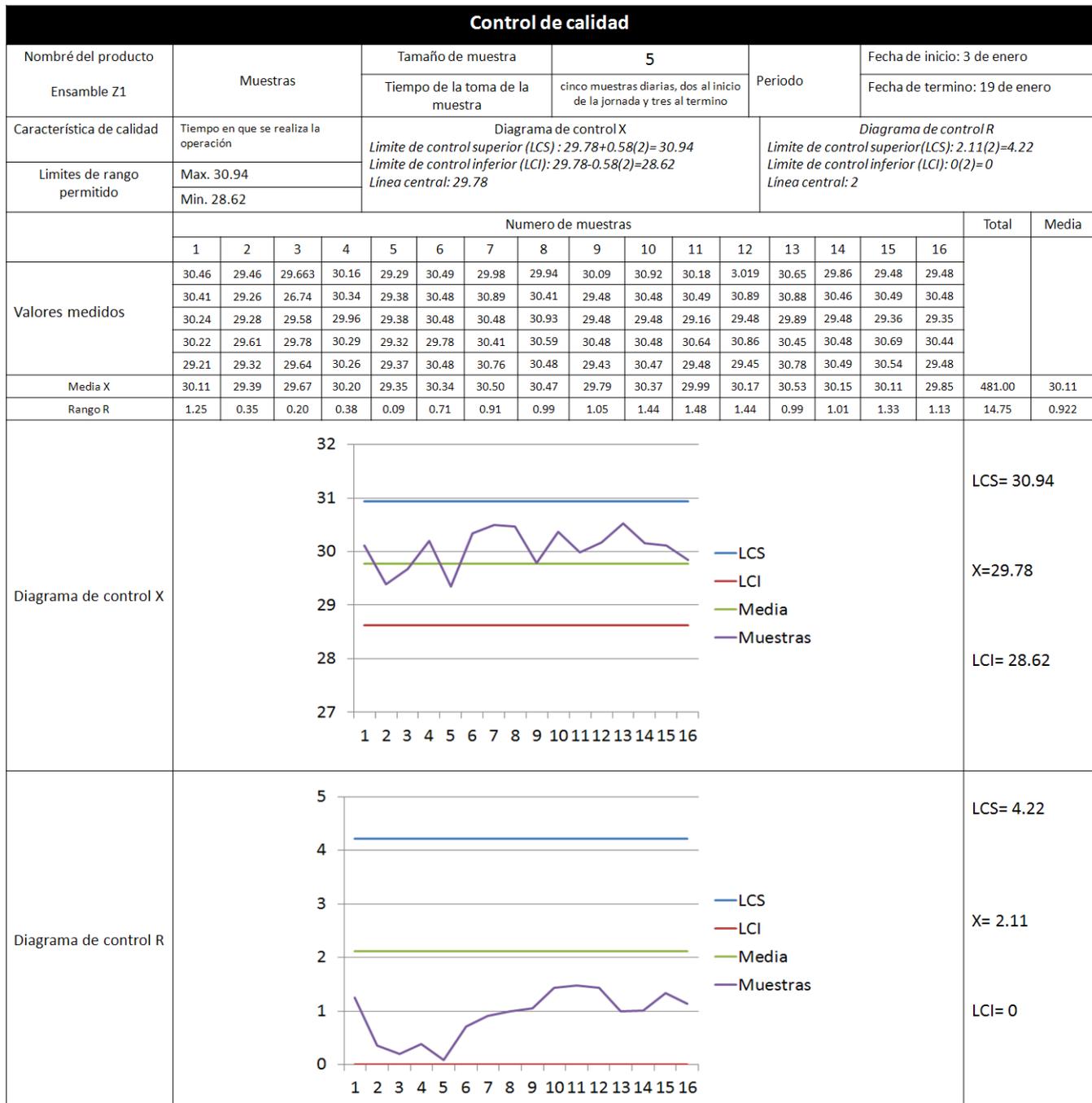


Figura 4.19. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 1.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran dentro de los límites de control, y estos presentan un comportamiento estable.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen una variación estable, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más homogénea de lo que estaba previsto.

En la tabla 4.6 se muestra los errores del ensamble de la estación 1, y en la figura 4.20 la grafica que representa estos datos para que sean analizados en la carta de control P.

**Tabla 4.6. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P						
Nombre de la parte	Ensamble Z1		Tamaño de la muestra			5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo			Observaciones
			Mal ensamble de las piezas			
			C0	C1	E0	
1	0	0.00	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	
6	1	0.20	0	1	0	No coloco la pieza
7	0	0.00	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	
13	1	0.20	0	1	0	No coloco la pieza
14	0	0.00	0	0	0	
15	2	0.40	0	2	0	No coloco la pieza
16	1	0.20	0	1	0	No coloco la pieza
<b>TOTALES</b>	5	1.00	0	5	0	

Con la información anterior se procede a la construcción de la grafica de la carta de control P.

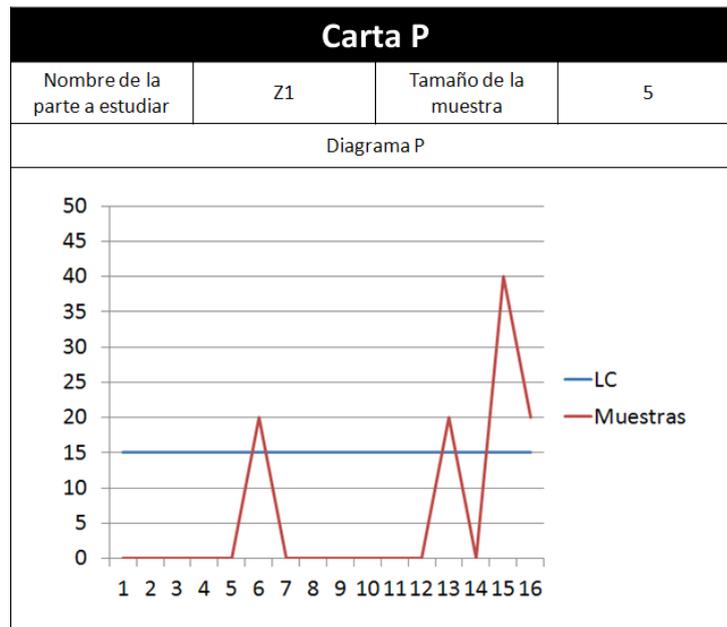


Figura 4.20. Grafica de la carta de control P.

En este grafico se puede apreciar a que todos los puntos por encima del límite, pero como se cometieron pocos errores se establece que el sistema esta bajo control aunque los puntos rebasen el limite.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad, esto se logra mediante las ecuaciones 3.11, 3.12 y 1.9.

$$\sigma_1 = 0.54$$

$$C_{pk} = \frac{30.94 - 29.78}{3(0.54)} = 0.72$$

$$C_p = \frac{30.94 - 28.62}{6(0.54)} = 0.72$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas solo es de 3.573%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 1 es insatisfactorio.

Estación 2.

En la tabla 4.7 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

Tabla 4.7. Muestreo de tiempos de la estación 2.

Muestreo estación 2							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	29.45	29.48	29.18	29.48	29.48	29.41	0.30
2	29.18	29.18	29.79	29.46	29.61	29.44	0.61
3	29.42	29.17	29.64	29.67	29.41	29.46	0.50
4	29.69	29.48	29.76	29.47	29.13	29.51	0.63
5	29.18	29.75	29.41	29.96	29.18	29.50	0.78
6	29.18	29.78	29.67	29.48	29.48	29.52	0.60
7	29.11	29.13	28.97	29.18	29.31	29.14	0.34
8	29.48	28.98	28.91	29.48	29.16	29.20	0.57
9	29.78	29.79	28.47	29.57	29.18	29.36	1.32
10	29.68	29.38	29.49	29.68	29.43	29.53	0.30
11	29.56	29.51	28.89	29.57	29.74	29.45	0.85
12	29.56	29.41	28.74	29.53	29.18	29.28	0.82
13	29.34	29.48	28.64	29.46	29.73	29.33	1.09
14	29.17	29.58	29.37	29.54	29.17	29.37	0.41
15	29.19	29.59	29.67	29.48	29.64	29.51	0.48
16	29.79	29.17	29.34	29.28	29.51	29.42	0.62
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 29.402$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 0.639$

En la figura 4.21 se muestra las cartas de control de la estación 2.

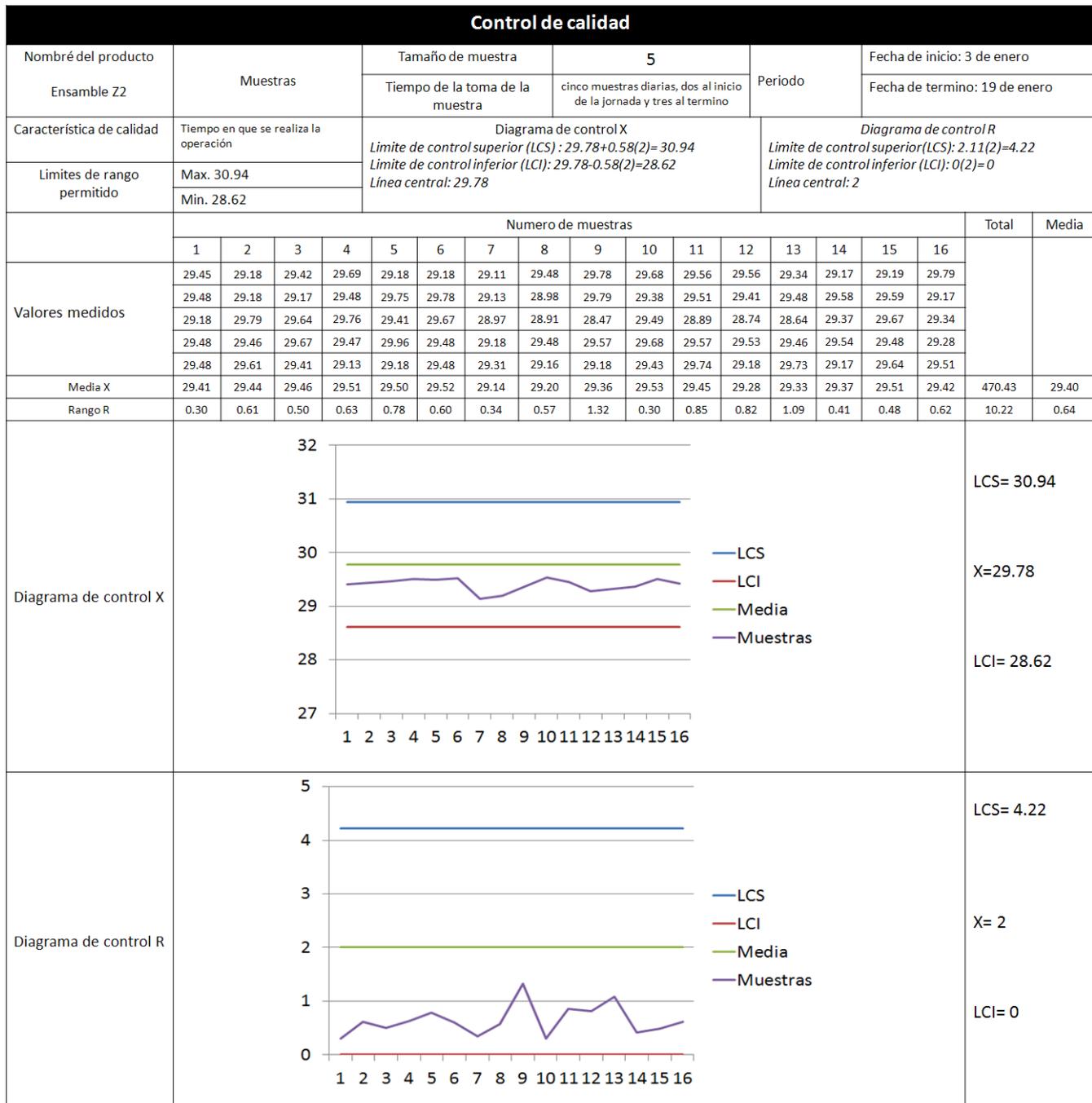


Figura 4.21. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 2.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo cual indica que se produce con un menor tiempo que los demás, lo que ocasiona una tendencia hacia que la siguiente estación sea sobre cargada de trabajo y que esta tenga tiempo de ocio. Por otro lado los valores se presentan estables por lo cual estos no rebasaran el límite inferior.

En el gráfico R se observa que los valores del rango tienen una variación estable, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más homogénea de lo que estaba previsto.

En la tabla 4.8 se muestra los errores del ensamble de la estación 2.

**Tabla 4.8. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P							
Nombre de la parte	Ensamble Z2		Tamaño de la muestra				5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo				Observaciones
			Mal ensamble de las piezas				
			A0	CO	HO	PO	
1	0	0.00	0	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	0	
<b>TOTALES</b>	0	0.00	0	0	0	0	

Durante las pruebas de ensablado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad, esto se logra mediante las ecuaciones 3.11, 3.12 y 1.9.

$$\sigma_2 = 0.30$$

$$C_{pk} = \frac{30.94 - 29.78}{3(0.30)} = 1.29$$

$$C_p = \frac{30.94 - 28.62}{6(0.30)} = 1.29$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas solo es de 0.0096%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 2 es satisfactorio.

*Estación 3.*

En la tabla 4.9 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 4.9. Muestreo de tiempos de la estación 3.**

Muestreo estación 3							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	29.49	29.19	28.49	30.19	29.74	29.42	1.70
2	29.16	30.11	29.13	29.17	29.47	29.41	0.98
3	29.41	29.75	29.41	29.83	29.18	29.52	0.65
4	29.78	29.61	29.47	29.21	29.37	29.49	0.57
5	30.45	30.48	30.19	30.17	29.78	30.21	0.70
6	29.46	30.48	30.23	29.86	29.34	29.87	1.14
7	29.78	30.79	30.61	30.65	29.39	30.24	1.40
8	29.48	29.78	30.17	30.84	29.19	29.89	1.65
9	29.73	29.28	30.78	29.67	29.47	29.79	1.50
10	29.79	29.91	29.78	30.92	29.78	30.04	1.14
11	29.73	29.48	29.67	29.43	29.37	29.54	0.36
12	30.19	29.68	29.49	30.16	30.04	29.91	0.70
13	29.49	29.19	28.49	30.19	29.74	29.42	1.70
14	29.16	30.11	29.13	29.17	29.47	29.41	0.98
15	29.41	29.75	29.41	29.83	29.18	29.52	0.65
16	29.78	29.61	29.47	29.21	29.37	29.49	0.57
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 29.697$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 0.908$

En la figura 4.22 se muestra las cartas de control de la estación 3.

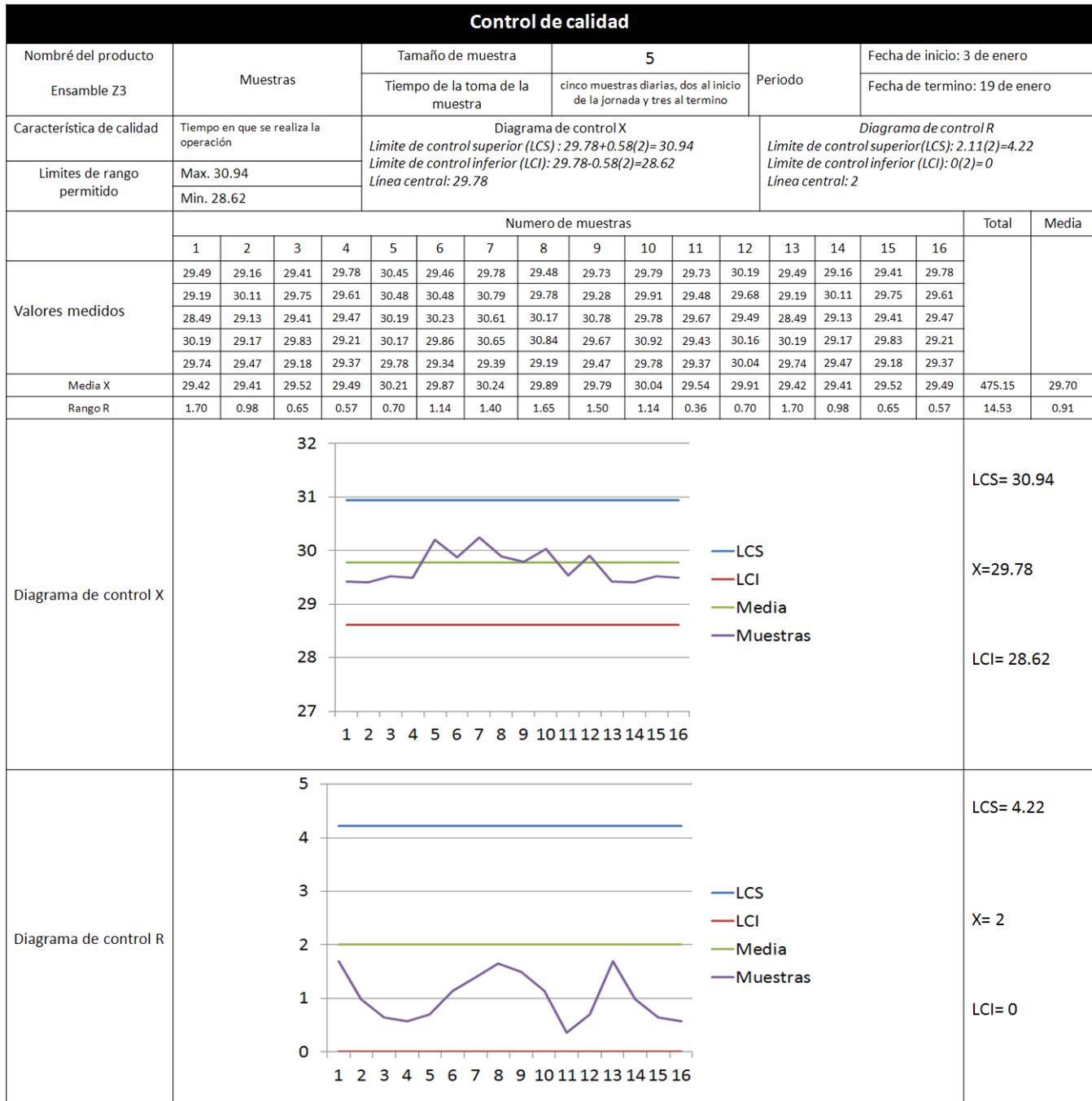


Figura 4.22. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 3.

En el gráfico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran dentro de los límites de control, y estos presentan un comportamiento estable.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen poca variación, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más rápida de lo esperado, pero estas salen a un ritmo demasiado variable, siendo que las piezas salgan de forma intermitente.

En la tabla 4.10 se muestra los errores del ensamble de la estación 3.

**Tabla 4.10. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P						
Nombre de la parte	Ensamble Z3		Tamaño de la muestra			5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo			Observaciones
			Mal ensamble de las piezas			
			C2	TO	W0	
1	0	0.00	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	
<b>TOTALES</b>	0	0.00	0	0	0	

Durante las pruebas de ensablado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad, esto se logra mediante las ecuaciones 3.11, 3.12 y 1.9.

$$\sigma_3 = 0.50$$

$$C_{pk} = \frac{30.94 - 29.78}{3(0.50)} = 0.77$$

$$C_p = \frac{30.94 - 28.62}{6(0.50)} = 0.77$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas solo es de 3.573%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 3 es insatisfactorio.

*Estación 4.*

En la tabla 4.11 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 4.11. Muestreo de tiempos de la estación 4.**

Muestreo estación 4							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	30,46	29,78	30,24	29,87	30,46	30.16	0.68
2	30,48	29,68	30,37	30,58	29,97	30.22	0.90
3	30,67	29,47	30,47	30,28	30,67	30.31	1.20
4	30,78	29,38	30,51	30,18	30,69	30.31	1.40
5	30,67	29,47	30,16	30,47	30,69	30.29	1.22
6	30,59	29,89	30,28	29,71	30,73	30.24	1.02
7	30,49	29,58	30,61	29,78	30,57	30.21	1.03
8	30,39	29,68	30,48	29,89	30,69	30.23	1.01
9	30,68	29,73	30,61	29,69	30,58	30.26	0.99
10	30,48	29,43	30,45	29,68	30,61	30.13	1.18
11	30,59	29,69	29,68	29,87	30,73	30.11	1.05
12	30,64	29,54	30,67	29,98	30,71	30.31	1.17
13	30,78	29,68	29,67	29,47	30,37	29.99	1.31
14	30,64	29,76	29,47	30,68	30,69	30.25	1.22
15	30,67	29,46	29,68	30,47	30,83	30.22	1.37
16	30,59	29,37	29,38	29,78	30,74	29.97	1.37
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 30.200$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 1.132$

En la figura 4.23 se muestra las cartas de control de la estación 4.

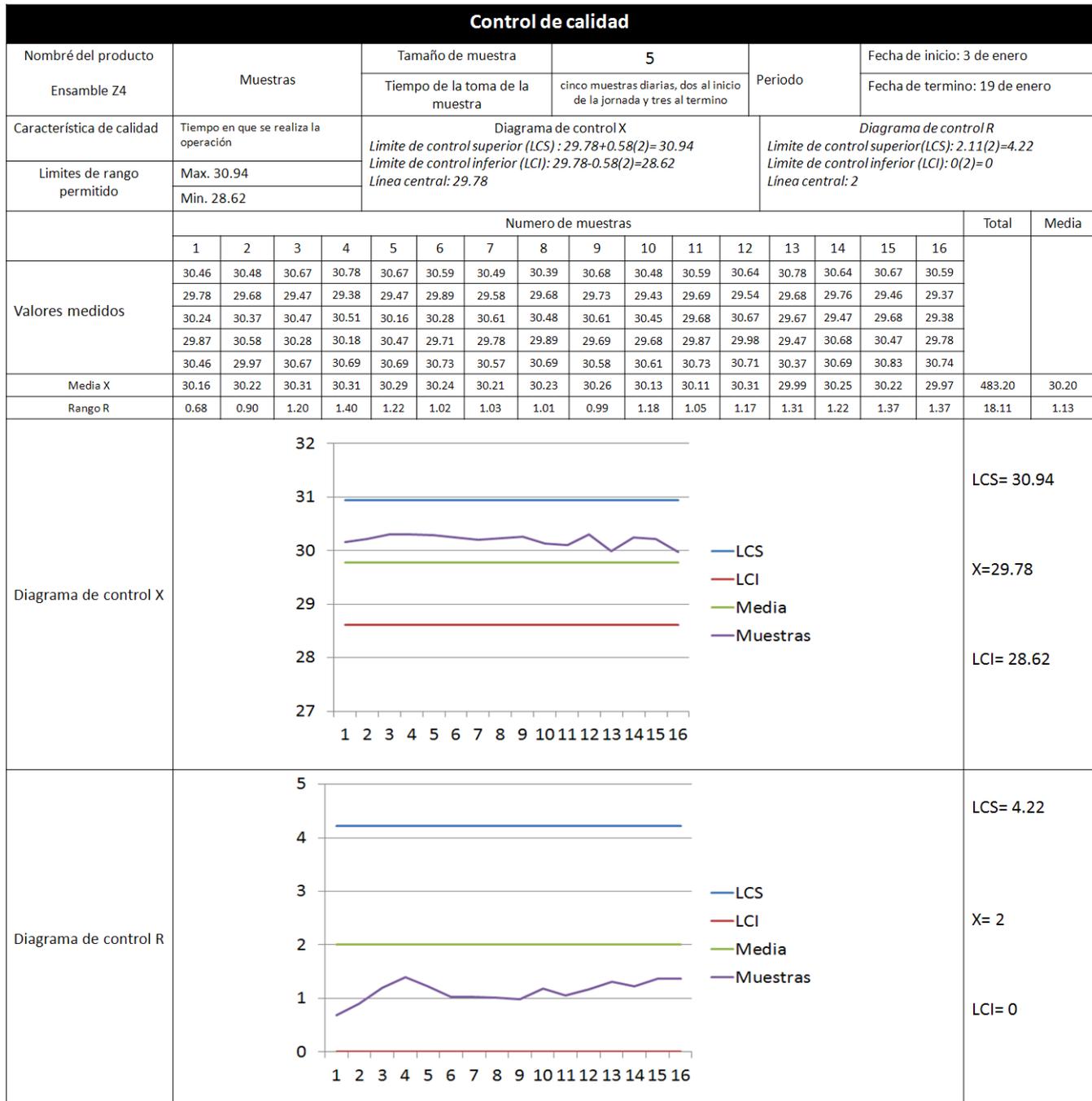


Figura 4.23. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 4.

En el gráfico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran por encima del valor promedio, lo cual indica que se produce con un mayor tiempo que los demás, lo que ocasiona una tendencia hacia que la siguiente estación tenga tiempo y que esta tenga una posible

carga de trabajo. Por otro lado los valores se presentan estables por lo cual estos no rebasaran el límite superior.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen poca variación, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más rápida de lo esperado, pero estas salen cada vez más lento.

En la tabla 4.12 se muestra los errores del ensamble de la estación 4.

**Tabla 4.12. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P						
Nombre de la parte	Ensamble Z4		Tamaño de la muestra			5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo			Observaciones
			Mal ensamble de las piezas			
			B0	M0	Y0	
1	0	0.00	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	
<b>TOTALES</b>	0	0.00	0	0	0	

Durante las pruebas de ensablado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P. Aunque por los retrasos observados en las cartas  $\bar{X}$  y R, se estima que se cometerán varios errores debido al sobre trabajo.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad, esto se logra mediante las ecuaciones 3.11, 3.12 y 1.9.

$$\sigma_4 = 0.49$$

$$C_{pk} = \frac{30.94 - 29.78}{3(0.49)} = 0.79$$

$$C_p = \frac{30.94 - 28.62}{6(0.49)} = 0.79$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas solo es de 1.639%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 4 es insatisfactorio.

*Estación 5.*

En la tabla 4.13 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 4.13. Muestreo de tiempos de la estación 5.**

Muestreo estación 5							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
	1	29.69	29.64	29.68	29.37		
2	28.86	29.37	29.34	29.48	29.61	29.33	0.90
3	28.84	29.67	29.43	28.91	29.38	29.25	1.20
4	28.83	29.46	29.23	29.73	29.64	29.38	1.40
5	29.67	29.31	29.33	29.43	29.71	29.49	1.22
6	28.83	29.18	29.45	29.43	29.67	29.31	1.02
7	28.94	29.37	29.36	29.71	29.53	29.38	1.03
8	28.91	29.58	29.61	29.38	29.59	29.41	1.01
9	28.83	28.84	29.35	29.67	29.38	29.21	0.99
10	28.96	28.91	29.21	29.01	29.46	29.11	1.18
11	28.91	28.85	29.35	29.57	29.61	29.26	1.05
12	28.95	28.95	29.26	29.59	29.71	29.29	1.17
13	28.94	28.99	29.29	29.49	29.61	29.26	1.31
14	28.93	28.99	29.34	29.37	29.56	29.24	1.22
15	29.47	29.34	29.41	29.67	29.68	29.51	1.37
16	29.67	29.16	29.79	29.48	29.71	29.56	1,37
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 29.351$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 1.132$

En la figura 4.24 se muestra las cartas de control de la estación 5.

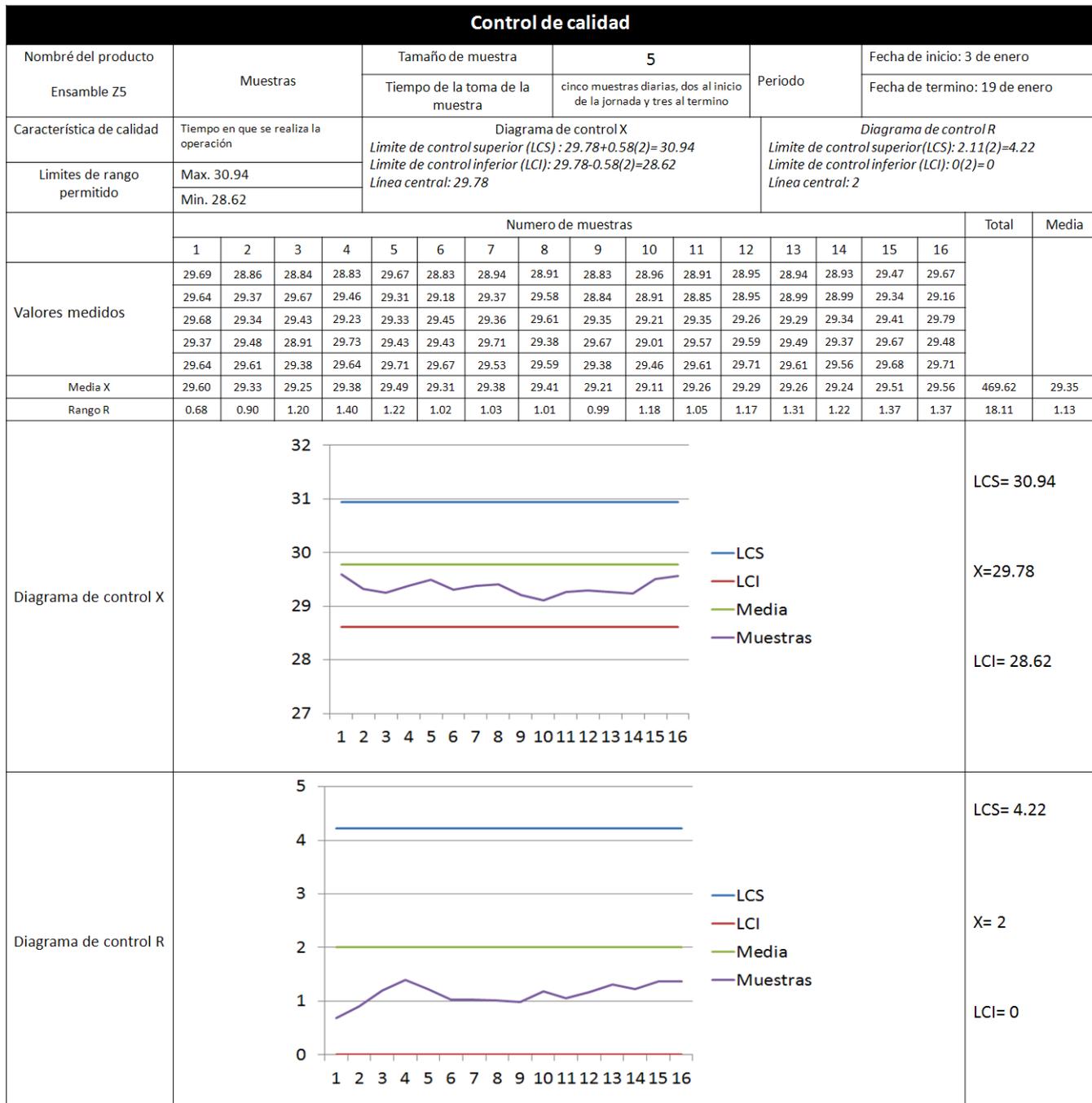


Figura 4.24. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 5.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo cual indica que se produce con un menor tiempo que los demás, lo que ocasiona una tendencia hacia que la siguiente estación sea sobre cargada de trabajo y que esta tenga

tiempo de ocio. Por otro lado los valores se presentan estables por lo cual estos no rebasaran el límite inferior.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen poca variación, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más rápida de lo esperado, pero estas salen cada vez más lento.

En la tabla 4.14 se muestra los errores del ensamble de la estación 5.

**Tabla 4.14. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P					
Nombre de la parte	Ensamble Z5		Tamaño de la muestra	5	
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo		Observaciones
			Mal ensamble de las piezas		
			J0	M0	
1	0	0.00	0	0	
2	0	0.00	0	0	
3	0	0.00	0	0	
4	0	0.00	0	0	
5	0	0.00	0	0	
6	0	0.00	0	0	
7	0	0.00	0	0	
8	0	0.00	0	0	
9	0	0.00	0	0	
10	0	0.00	0	0	
11	0	0.00	0	0	
12	0	0.00	0	0	
13	0	0.00	0	0	
14	0	0.00	0	0	
15	0	0.00	0	0	
16	0	0.00	0	0	
<b>TOTALES</b>	0	0.00	0	0	

Durante las pruebas de ensablado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P. Aunque por los retrasos observados en las cartas  $\bar{X}$  y R, se estima que se cometerán varios errores debido al sobre trabajo.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad, esto se logra mediante las ecuaciones 3.11, 3.12 y 1.9.

$$\sigma_5 = 0.29$$

$$C_{pk} = \frac{30.94 - 29.78}{3(0.29)} = 1.33$$

$$C_p = \frac{30.94 - 28.62}{6(0.29)} = 1.33$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas solo es de 0.0096%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 5 es satisfactorio.

Estación 6.

En la tabla 4.15 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

Tabla 4.15. Muestreo de tiempos de la estación 6.

Muestreo estación 6							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	29.68	29.73	29.64	29.64	30.25	29.79	0.61
2	29.48	29.67	29.81	29.59	29.48	29.61	0.33
3	30.09	29.45	29.48	29.43	29.53	29.60	0.66
4	29.47	29.56	29.67	29.53	30.41	29.73	0.94
5	29.54	29.72	29.74	29.74	29.53	29.65	0.21
6	29.73	30.12	29.48	29.53	30.54	29.88	1.06
7	29.83	29.43	29.57	29.48	29.68	29.60	0.40
8	29.68	29.49	30.53	29.43	29.48	29.72	1.10
9	29.78	29.46	29.46	29.74	29.53	29.60	0.32
10	29.46	29.48	29.76	29.73	30.43	29.77	0.97
11	29.59	29.56	30.74	29.48	29.81	29.84	1.26
12	29.47	29.71	29.47	29.41	29.57	29.53	0.30
13	29.54	29.68	29.51	29.43	29.49	29.53	0.25
14	29.78	29.93	29.75	29.76	29.67	29.78	0.26
15	29.34	29.48	29.69	29.55	29.73	29.56	0.39
16	29.73	29.76	29.37	29.88	29.68	29.58	0.51
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 29.678$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 0.598$

En la figura 4.25 se muestra las cartas de control de la estación 6.

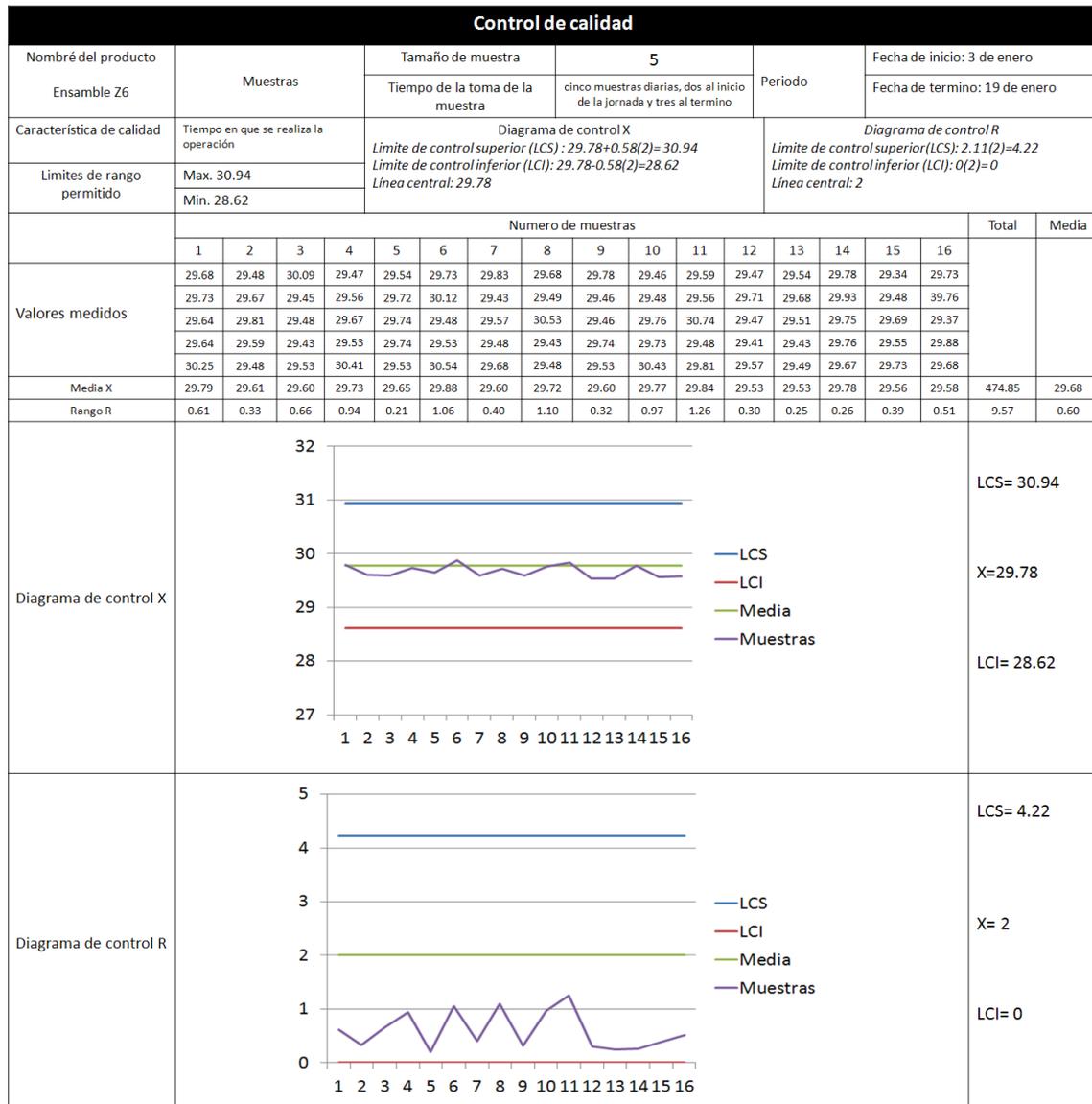


Figura 4.25. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 6.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que los datos tienen un comportamiento estable en el límite central.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen una variación estable, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más homogénea de lo que estaba previsto.

En la tabla 4.16 se muestra los errores del ensamble de la estación 6.

**Tabla 4.16. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P							
Nombre de la parte	Ensamble Z6	Tamaño de la muestra	5				
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo				Observaciones
			Mal ensamble de las piezas				
			F0	J0	J1	NO	
1	0	0.00	0	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	0	
<b>TOTALES</b>	0	0.00	0	0	0	0	

Durante las pruebas de ensablado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad, esto se logra mediante las ecuaciones 3.11, 3.12 y 1.9.

$$\sigma_6 = 0.28$$

$$C_{pk} = \frac{30.94 - 29.78}{3(0.28)} = 1.38$$

$$C_p = \frac{30.94 - 28.62}{6(0.28)} = 1.38$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas solo es de 0.0096%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 6 es satisfactorio.

Estación 7.

En la tabla 4.17 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 4.17. Muestreo de tiempos de la estación 7.**

Muestreo estación 7							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	30.45	29.76	30.25	30.22	29.69	30.07	0.76
2	30.19	29.79	30,18	30.25	29.94	30.07	0.46
3	29.76	29.73	30,43	30.19	29.75	29.97	0.70
4	29.86	29.85	30,29	29.69	29.68	29.87	0.61
5	29.68	29.79	30,31	29.75	29.71	29.85	0.63
6	30.28	29.73	30,33	29.69	29.64	29.93	0.69
7	30.16	29.67	30,43	29.88	29.73	29.97	0.76
8	30.25	30.26	30,42	30.24	30.15	30.26	0.27
9	30.34	30.15	30,25	29.63	30.64	30.20	1.01
10	30.21	29.74	30,29	29.68	30.18	30.02	0.61
11	30.11	29.73	30,24	29.65	29.77	29.90	0.59
12	30.22	30.35	30,26	29.74	30.31	30.18	0.61
13	30.03	30.24	30,45	29.73	29.88	30.07	0.72
14	30.41	29.73	30,46	29.89	29,69	30.04	0.77
15	30.35	29.99	30,25	29.95	30.19	30.15	0.40
16	30.12	29.69	30,55	30.73	30.43	30.30	1.04
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 30.053$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 0.664$

En la figura 4.26 se muestra las cartas de control de la estación 7.

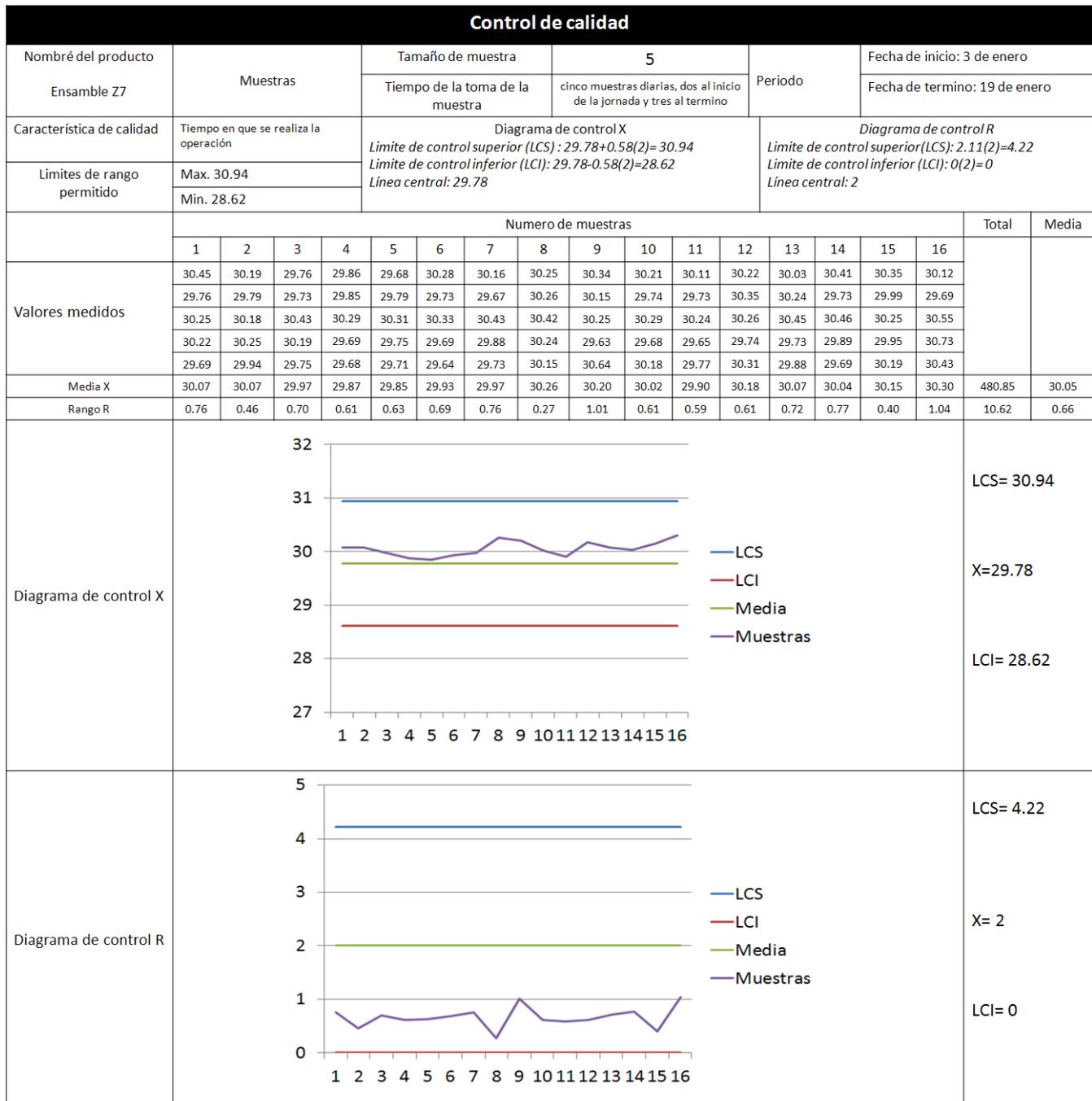


Figura 4.26. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 7.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran por encima del valor promedio, lo cual indica que se produce con un mayor tiempo que los demás, lo que ocasiona una tendencia hacia que la siguiente estación tenga tiempo y que esta tenga una posible carga de trabajo. Por otro lado los valores se presentan estables por lo cual estos no rebasaran el límite superior.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen poca variación, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma homogénea de lo que estaba previsto.

En la tabla 4.18 se muestra los errores del ensamble de la estación 7.

**Tabla 4.18. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P								
Nombre de la parte	Ensamble Z7		Tamaño de la muestra					5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo					Observaciones
			Mal ensamble de las piezas					
			LO	MO	RO	SO	XO	
1	0	0.00	0	0	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	0	0	
<b>TOTALES</b>	0	0.00	0	0	0	0	0	

Durante las pruebas de ensablado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad, esto se logra mediante las ecuaciones 3.11, 3.12 y 1.9.

$$\sigma_7 = 0.29$$

$$C_{pk} = \frac{30.94 - 29.78}{3(0.29)} = 1.33$$

$$C_p = \frac{30.94 - 28.62}{6(0.29)} = 1.33$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas solo es de 0.0096%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 7 es satisfactorio.

### ***6.3.2. Análisis del costo unitario de producción o de producto (CPD).***

Este análisis se realiza para saber si los costos de producción se lograron disminuir con las mejoras aplicadas.

Para el cálculo del costo unitario de producción se toman en cuenta los siguientes pasivos.

- Costos de materia prima
- Costos de mano de obra.
- Gastos administrativos.

Recordando que este análisis se realizará con las mismas condiciones que el realizado en la práctica 3.

- Costos de materia prima (CDP).

Este costo se obtuvo durante la práctica 3, presentado en la tabla 3.15: Costo de la materia prima es de \$11470.20 mensuales.

- Costos de mano de obra (CMO).

Partiendo del conocimiento que se conservan el salario mensual obtenido en la práctica 3 (\$3900.00), se calcula los costos de mano de obra:

Teniendo en cuenta que en la línea de producción hay 7 operarios, el costo total de mano de obra es de: \$27300.00

- Costos administrativos (CAD).

Este costo se obtuvo durante la práctica 3, presentado en la tabla 3.16: Costos administrativos es de \$34292.50 mensuales.

Con la información anterior y las ecuaciones 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 se calculan los costos de producción la rentabilidad del producto:

Utilizando las ecuaciones anteriores nos queda:

Costo de producción:

$$CPD = 11470.20 + 27300.00 + 34292.50$$

$$CPD = \$73062.70$$

Costo unitario (CU):

$$CU = \frac{73062.70}{24165} = \$3.02$$

Precio de venta (PV):

Si se desea tener un margen de utilidad del 30%, el precio de venta ofertado será de:

$$PV = \frac{3.02}{1-(0.30)}$$

$$PV = \$4.31 \text{ por unidad}$$

Para conocer si este sistema rentable o no, se calcula la cantidad de robots que se producen en un mes y se multiplica por el precio de venta, a este resultado se le resta los gastos cálculos y se obtiene las ganancias mensuales promedio. Para el cálculo de esta información se hará uso de la ecuación 1.10 y la información proporcionada por la tabla 4. 4.

$$Pd = \frac{28800 - 208.49}{29.78} = 960.09 \approx 960 \text{ piezas producidas diariamente}$$

$$\text{ingresos mensuales} = (960)(4.78)(25) = 114720$$

Si restamos a los ingresos mensuales los costos de producción se obtendrá las ganancias mensuales:

$$114720 - 73062.70 = 41657.30$$

Se puede concluir que la línea de producción es un negocio rentable ya que los ingresos superan a los egresos.

### 6.3.3. Diagrama de Gantt.

Tomando en consideración los resultados obtenidos, se realiza el diagrama de Gantt, mostrado en la figura 4.25, en este diagrama las barras de color azul muestran el tiempo ideal que se necesita para producir 960 unidades, mientras que las barras de color rojo muestran el tiempo de seguridad del 5% del tiempo de producción, para producir los posibles faltantes o reponer el tiempo perdido por retrasos, accidentes o cualquier imprevisto posible.

Se obtiene la cantidad de días necesarios cubrir esta demanda, dividiendo la demanda mensual entre la cantidad de piezas producidas diariamente.

$$\frac{\text{demanda}}{\text{piezas producidas en un día}} = \frac{24165}{960} = 25.17 \text{ días} \approx 26 \text{ días}$$

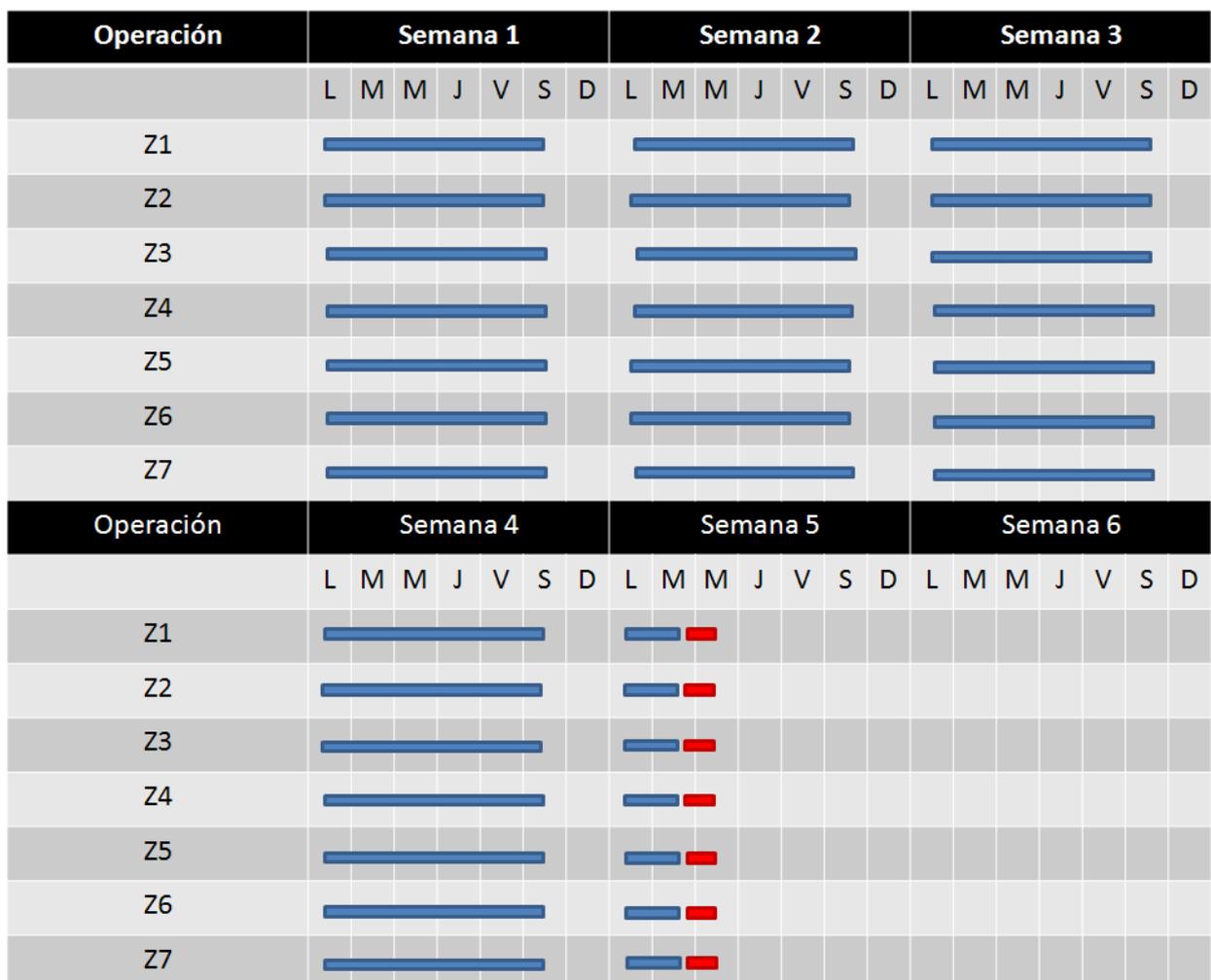


Figura 4.25. Diagrama de Gantt.

## 7. Resultados.

Los resultados obtenidos se enuncian según el proceso realizado:

- Con este estudio se puede apreciar que se ha logrado incrementar la eficiencia con las estaciones 2, 5, 6 y 7, con la cuales tenemos un  $C_{pk}$  de 1.30, aunque no es la meta de 1.33 se logro incrementar su productividad de una manera considerable; mientras que en las otras estaciones de trabajo se incremento su eficiencia pero no se logro una mejora suficiente para establecer que la línea de ensamble “verde”, esta en condiciones optimas de producción, esto se debe a que; aunque las líneas por si mismas muestren una apariencia de estar bajo control, pero a un largo plazo empezara haber retrasos y sobrecargas de trabajo en las estaciones.
- Los errores fueron eliminados en gran medida por los “poka yoke” implantados, además de la curva de aprendizaje apoyo significativamente, siendo que al realizar más ensambles, no solo el tiempo de ensamblado baja sino también los errores cometidos durante este.
- Se logro incrementar la producción un 19.7 % la producción diaria de 802 unidades diarias a 960 unidades.

Esta cifra esta muy cerca de la cantidad de unidades que se desean fabricar diariamente (967 unidades).

- Se redujo el área utilizada, de 33.96 metros cuadrados (sin contar los márgenes de seguridad) a 25.10 metros cuadrados.
- Se logro reducir el tiempo de realización de 24165 unidades de 31 días a 26.
- Se ha incrementado las ganancias obtenidas en un 26.03%, aunque se incrementó también los costos de mano de obra.
- No se ha conseguido establecer la producción de 967 unidades diarias, pero si se corrigen los errores de las estaciones con un índice de capacidad bajo se lograría superar este.
- En la grafica OBC se muestra que no se consiguió igualar los tiempos de ensamble, pero al existir una gran holgura con respectó a los límites de control, los índices de capacidad resultan ser engañosos.

## 8. Cuestionario final.

*¿Se ha conseguido cubrir la demanda pronosticada? ¿Por que si? ó ¿Por qué no?*

Desafortunadamente todavía no se ha podido cumplir con la meta de producir 967 unidades diarias, debido a que algunas estaciones de trabajo no cumplen todavía con las especificaciones y por tanto su nivel de capacidad es menor al valor ideal para una producción estable.

*¿Que beneficios trajo las modificaciones propuestas?*

Los beneficios que se obtuvieron son los siguientes:

- Mediante la aplicación de la herramienta “poka yoke” y la técnica “tormenta de ideas”, se lograron prácticamente erradicar los errores cometidos durante los ensambles.
- El tiempo necesario para realizar el ensamble es mas corto, debido en parte al trabajo estandarizado, y en gran medida a la curva de aprendizaje, ya que se conoce más el proceso de unir las piezas.
- Se logro incrementar la producción un 19.7 % la producción diaria de 802 unidades diarias a 960 unidades.
- Se logro reducir el tiempo de realización de 24165 unidades de 31 días a 26.
- Se ha incrementado las ganancias obtenidas en un 26.03%, aunque se incrementó también los costos de mano de obra.

*¿Se logro reducir el los costos de producción?*

Los gastos totales se incrementaron debido a que se debió anexar un operador mas, sin en cambio, al mejorar la línea de ensamble se aumento la cantidad de piezas producidas, lo cual se puede recuperar más rápidamente el dinero que se gasto para establecer la producción.

*¿Que proyectos kaizen propondría para mejorar el nuevo sistema de producción?*

- Se analizarían los errores cometidos en la estación 1, para que no se siga olvidando el ensamble de la pieza C1.
- Para incrementar la calidad de la línea de producción, disminuyendo el rango y las tolerancias permitidas.
- Debido al punto anterior y lo ilustrado en la grafica OBC, al modificar los limites de control de las estaciones, estas estarán fuera de control, por lo cual, se debería realizar una nueva grafica OBC y un nuevo trabajo estandarizado.

## ***9. Conclusiones de la práctica.***

Los proyectos de mejora o proyectos kaizen, son la base para que una empresa pueda ser competitiva hoy en día.

Para lograrlo se tiene que poder determinar las áreas de oportunidad, en las cuales se pueda realizar una o varias mejoras, para ello se utilizan las diversas herramientas de solución de problemas, cuando estas están definidas, se ponen en marcha y se analizan los resultados, para que sean comparados con los valores que se obtuvieron antes de la aplicación de las mejoras, y se analizan si los resultados son los esperados o no, en caso de no ser los resultados esperados se tiene que volver a analizar los errores cometidos y dar solución a estos, después, realizar su aplicación, análisis y su comparación, hasta obtener los resultados obtenidos.

Todo este proceso de aprueba y error cuesta recursos, por lo cual cada análisis de errores y encontrar la solución a estos tiene que ser la más eficiente posible.

## ***Capítulo 5.***

### ***“Manufactura Celular”***

#### ***Práctica número 5.***

***Duración de la práctica: 4 sesiones.***

#### ***1. Objetivo.***

Al finalizar la práctica, el estudiante tendrá la capacidad de diseñar, construir y analizar una celda de manufactura.

#### ***2. Introducción.***

Para reducir los tiempos de proceso y uso de recursos, se trata de realizar las operaciones justo a tiempo (Just in Time), para lo cual es necesario cambiar la disposición tradicional de maquinas similares agrupadas en departamentos de proceso (troquelado, fresado, torneado, etc.) a celdas de manufactura de forma en “U” integrando las maquinas, personal con múltiples habilidades, herramientas, refacciones, materiales, componentes y facilidades necesarias para fabricar una familia de productos por celda a través de la tecnología de grupo.

La celda en “U” permite que cada operador pueda comunicarse con los demás en caso de problemas o que puedan ayudarse y cooperar en caso de atrasos, ya no se responsabiliza a cada operador por una sola operación, sino más bien se responsabiliza a todo el grupo de operadores por la celda para la cual deben tener la habilidad de una diversidad de operaciones. Tanto las herramientas como las refacciones deben tenerse a la mano para hacer cambios rápidos de modelo sin necesidad de buscarlas en toda la planta.

De acuerdo con los pedidos de los clientes se debe balancear el trabajo de la celdas de manufactura para que tengan una carga constante o producción lineal (a través del tiempo “Takt”, periodo con el que cuenta cada operación de la celda “U” para realizar su actividad) de todas formas están diseñados para responder de forma flexible a la demanda.

### *Ventajas*

- Una de las ventajas más importantes de la industria que trabaja con celdas de manufactura para la producción, sin duda alguna es la simulación. Sin embargo la simulación computacional, aun no ha logrado resolver eficientemente los problemas que presenta una celda de manufactura real.
- La distribución de los puestos de trabajo y maquinaria en los procesos productivos determinan fuertemente los resultados del mismo; una buena distribución de los recursos productivos dará como resultado los volúmenes de producción requeridos, con el cumplimiento de los requisitos establecidos por el cliente y en el tiempo requerido.

### *Desventajas*

- Cuando se utilizan celdas de manufactura la relevancia de los costos crea una desventaja ya que al utilizar más maquinas herramientas aumenta el costo de manufactura teniendo en cuenta que el mantenimiento adecuado de las herramientas y de la maquinaria es esencial, al igual que la implementación de funcionamiento de las celdas en dos o tres turnos.

### ***3. Mobiliario y Equipo utilizado en la práctica.***

- Cronometro.
- Estación de trabajo.
- Robot de juguete.
- Estante de madera.

### ***4. Marco teórico de la práctica.***

En un sistema con flujo continuo, la producción de artículos debe fabricarse pieza por pieza (o en pequeños lotes) a través de todo el sistema. El equipo no debe ser agrupado por categorías tales como estampado soldadura, maquinado, pintura, etc. Pero si de una manera en que se pueda minimizarse el desperdicio en el transporte y mantener un flujo continuo.

Una manera de mejorar el flujo es la configuración de las operaciones dentro de una célula de trabajo. Una célula de trabajo es una unidad que incluye operaciones que agregan valor al proceso. La organización de una célula involucra equipos y personal, en una secuencia de producción e incluye todas las operaciones requeridas para elaborar

un producto. Cuando las operaciones son organizadas dentro de una célula, el operador puede producir y pasar las partes de una pieza a la vez con una mejora en la seguridad y con una reducción de esfuerzos.

A continuación se mencionan los pasos para la construcción de una celda de trabajo:

#### **4.1. Guía para *Layout* celulares.**

**Paso 1:** “Coloque las maquinas y estaciones de trabajo lo más cerca posible para minimizar las distancias que se va a caminar.”

**Paso 2:** “Libre de obstrucciones las rutas del trabajador e instale piso confortable”

**Paso 3:** “Trate de mantener el ancho de la célula en cuatro pies para permitir flexibilidad, reubicación y redistribución del trabajo entre los miembros del equipo”

**Paso 4:** “Elimine espacios y lugares donde el inventario en proceso pueda acumularse”

**Paso 5:** “Mantenga consistentemente alturas de lugares de trabajo y materiales en el punto de uso”.

**Paso 6:** “Localice el final de la línea lo más cerca posible de la siguiente línea”

**Paso 7:** “Evite llevar la pieza de arriba-abajo y de frente-atrás”.

**Paso 8:** “Donde sea posible, use la gravedad para ayudar al operador en la colocación y movimiento de materiales”

**Paso 9:** “Diseñe un sistema de resurtido de dos contenedores”

**Paso 10:** “Instale equipo flexible y movable en la célula para hacer ajuste del Layout fácilmente”.

**Paso 11:** “Mantenga las herramientas que se utilizaran lo mas cerca posible del punto de uso”

**Paso 12:** “Diseñe la estación de trabajo para que los defectos no pasen a las siguientes estaciones. Calidad en la estación”

**Paso 13:** “Elimine el tiempo sin valor agregado. Calcule el porcentaje de tiempo con valor agregado del total de tiempo de producción”

**Paso 14:** “Minimice las distancias de transferencia de personas, materiales y maquinas. Calcule el porcentaje de espacio con valor agregado”

**Paso 15:** “Balancee el trabajo para que la operación trabaje dentro de tiempo objetivo/*Takt*”

**Paso 16:** “Permita tiempo para la inspección de calidad en la estación como parte del trabajo estandarizado”

**Paso 17:** “Diseñe células de manufactura que permitan incrementar la capacidad con una inversión mínima”

**Paso 18:** “Diseñe la célula de manufactura para tener flexibilidad de volumen”

**Paso 19:** “Diseñe *layouts* de líneas de ensamble para manufactura celular en forma de “U”, “U” abierta, “C”, “L”, “S” o “V”.

**Paso 20:** “Los tiempos de ciclo del operador deben ser iguales o menores al tiempo objetivo/*takt*”

**Paso 21:** “Diseñe las rutas de operación dentro de la célula verificando que no se crucen”

**Paso 22:** “Diseñe las células para que los operadores trabajen dentro de ella”

**Paso 23:** “Diseñe las células para que la rotación del trabajo sea en contra de las manecillas del reloj”

**Paso 24:** “Diseñe las células para que las operaciones no tengan mas de una pieza entre estaciones”

**Paso 25:** “Diseñe las piezas para asegurar que todas las partes pasan por todas las estaciones”

**Paso 26:** “Diseñe la célula para que el operador pueda realizar varias operaciones fácilmente”

**Paso 27:** “Diseñe las células para que el operador nunca quede atrapado”

**Paso 28:** “Desafié la necesidad de usar bandas transportadoras”

**Paso 29:** “No obstruya áreas de repartición en el diseño de la célula”

**Paso 30:** “Use el flujo de material de operaciones siguientes para programar la celula y reforzar el “sistema jalar””

**Paso 31:** “Diseñe células de manufactura con indicadores visuales”

**Paso 32:** “Coloque 2 o 3 operadores en cada célula”

## ***4.2. Guía para el desarrollo del proceso.***

**Paso 1:** “Calcule el tiempo objetivo/*takt* para determinar el tiempo ciclo de operación y los requisitos de flujo de material”

**Paso 2:** “Diseñe el tiempo de puerta a puerta para que sea menor que el intervalo de demanda del cliente”

**Paso 3:** “Diseñe procesos de manufactura para soportar los requisitos del cliente”

**Paso 4:** “Diseñe el proceso para tener lotes de una pieza”

**Paso 5:** “Diferencie entre el tamaño del lote y tamaño de lote de transferencia”

**Paso 6:** “Asegure que el material que entra primero salga primero”

**Paso 7:** “Diseñe equipo de manejo de material para apoyar el “jalón” y minimizar el intervalo en proceso”

**Paso 8:** “Diseñe opere usando equipos multidisciplinarios para asegurar que se optimiza el sistema no solo el proceso”

**Paso 9:** “Optimice el dinero gastando en actividades con valor agregado. Calcule el porcentaje de capital invertido con valor agregado”

**Paso 10:** “Asegure que los equipos de trabajo tengan la información necesaria disponible para la operación diaria del negocio”

**Paso 11:** “Asegure que la célula de trabajo este diseñada para dar cabida a las juntas de los equipos”

**Paso 12:** “Establezca un plan de capacitación que asegure que los trabajadores puedan desarrollar el conocimiento y habilidades necesarias para mejorar sus trabajos”

**Paso 13:** “Establezca una matriz de versatilidad y asegúrese de que cada operador esta entrenado y es capaz de operar cualquier estación de trabajo dentro de la célula”

**Paso 14:** “Diseñe el proceso para que se indique el estatus por medio de indicadores visuales de desempeño”

### ***4.3. Guía para el diseño del layout de la planta.***

**Paso 1:** “Consolide los procesos de manufactura relacionados con el producto y colocados en secuencia”

**Paso 2:** “Diseñe los layouts de tal forma que estén enfocados en el producto, no en el proceso”

**Paso 3:** “Coloque las operaciones en la planta para maximizar la flexibilidad y la comunicación”

**Paso 4:** “Incorpore rampas de recepción y embarque en el área de producción”

**Paso 5:** “Identifique claramente las rutas de flujo de material en la planta”

**Paso 6:** “Diseñe las rutas de flujo de material lejos de áreas con tráfico de personal”

**Paso 7:** “Diseñe el tamaño y la localización del supermercado para apoyar el tiempo objetivo *takt*”

**Paso 8:** “Diseñe la planta, equipo, proceso y áreas de trabajo con manejo visual”

**Paso 9:** “Diseñe un resurtido de material que apoye los sistemas de entrega de material”

**Paso 10:** “Incorpore técnicas de fabrica visual para facilitar el resurtido de material”

### ***4.4. Guía para el diseño de la estación de trabajo.***

**Paso 1:** “Diseñe el área de trabajo con indicadores visuales claros que indiquen en donde deben ir las cosas”

**Paso 2:** “Haga que los equipos de trabajo desarrollen hojas OPS (Quality Proces Sheets) para definir, evaluar y mejorar continuamente el proceso”

**Paso 3:** “Use el control estadístico de proceso (SPC) en las estaciones donde existan indicadores críticos del proceso, que tengan altos niveles de variabilidad”

**Paso 4:** “Realice la pantalla de riesgo ergonómico en todas las estaciones nuevas o modificadas antes de implementarlas en el piso de producción”

**Paso 5:** “Diseñe estaciones de trabajo para que las tareas se puedan hacer dentro del alcance del brazo del operador”

**Paso 6:** “Diseñe estaciones de trabajo para que las tareas se realicen entre la altura de los nudillos y los hombros del operador”

**Paso 7:** “Diseñe equipo para usarse en múltiples células de producción”

**Paso 8:** “Diseñe equipo y procesos de apoyo que prevengan y detecten defectos continuamente”

**Paso 9:** “Diseñe equipos que se detengan en cuanto se produzca un solo defecto”

**Paso 10:** “Diseñe o compre equipo capaz de hacer cambios frecuentes”

**Paso 11:** “Compre equipos que permitan cambios de productos sin herramienta ajena a la estación de trabajo”

**Paso 12:** “Diseñe equipo para que las actividades de ajustes sean independientes a la operación de la maquinaria”

**Paso 13:** “Use dispositivos de cambio rápidos donde pueda”

**Paso 14:** “Incluya técnicas de fabrica visual en las especificaciones del equipo”

**Paso 15:** “Cuando considere carga o descarga automática, siempre planee la descarga automática primero. Sólo considere la carga automática cuando sea necesario”

**Paso 16:** “Determine quien responderá a problemas en la estación y asegúrese de que este disponible inmediatamente la información necesaria”

**Paso 17:** “Realice el Análisis de modos de falla y sus defectos (FMEA) antes de finalizar las especificaciones”

**Paso 18:** “Mantenga la estación de trabajo simple”

**Paso 19:** “Use herramientas de simulación por computadora para realizar un análisis comparativo de alternativas de diseño”

## ***5. Cuestionario introductorio.***

***¿Cuáles son las posibles formas que puede adoptar una celda de manufactura?***

Las posibles formas que puede adoptar una celda de manufactura son: “U”, “U” abierta, “C”, “L”, “S” o “V”.

***¿Qué dimensiones debe tener como máximo una celda de manufactura?***

Se recomienda que el ancho de cada celda sea de 4pie, mientras que lo largo de esta dependerá de la forma que se elija y la cantidad de estaciones de trabajo involucradas en la celda.

***¿Cuántos operarios deben de tener como máximo una celda de manufactura?***

Se deben colocar 2 o 3 operarios en cada celda de trabajo.

***Los operarios deben de ir dentro de la célula o celda de trabajo ¿Por qué?***

Al haber pocos trabajadores que operan diferentes estaciones en un ritmo dado, ellos deben trasladarse a una estación lo más rápido posible, al tener un ancho de 4pie por celda, se reduce la distancia que los operarios recorren dentro de la misma.

***¿En que sentido debe ir el flujo del trabajo en la manufactura celular?***

En sentido contrario a las manecillas del reloj, ya que esto facilita el proceso y el recorrido del operario.

## ***6. Desarrollo.***

### ***6.1. Transformación de la línea de ensamble a una celda de manufactura***

#### ***6.1.1. Diseño y distribución de las estaciones de trabajo***

Partiendo de la línea de ensamble que se obtuvo en la práctica anterior, se ha decidido transformarla en una celda de trabajo, para esto se aplican las guías mostradas en las secciones 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4. Estas modificaciones y especificaciones se mencionan a continuación:

- Cada estación de trabajo mantendrá la misma operación que en la línea de ensamble, además de mantener el tiempo takt establecido (29.78s)
- Como la línea de ensamble cuenta con 7 estaciones de trabajo y para mantener los 4pie de ancho recomendado, se ha elegido que la celda tenga forma de “C”, en la figura 5.1 se ilustra el acomodo de las estaciones de trabajo formando una “C”.
- Dentro de la celda de manufactura solo abra 3 operarios, estos se encargaran de realizar las operaciones de las 7 estaciones; los recorridos de cada operario se muestra en la tabla 5.1.
- El flujo de las piezas será al sentido contrario a las manecillas del reloj.
- Para el análisis de la calda de manufactura se hará la suposición de que cada trabajador tendrá un subensamble en su estación.
- Durante el análisis estadístico de calidad se tomaran en cuenta las siguientes condiciones:
  - ✓ Desviación estándar permitida:  $\sigma= 1.5$
  - ✓ El rango permitido entre las muestras debe ser como máximo de 1 unidad.
  - ✓ El número de muestras a estudiar serán de 16.
  - ✓ El tamaño de cada muestra será de 5 mediciones cada una.
  - ✓ Se utilizara un nivel de confianza (z) igual a 3 o del 99.7%.

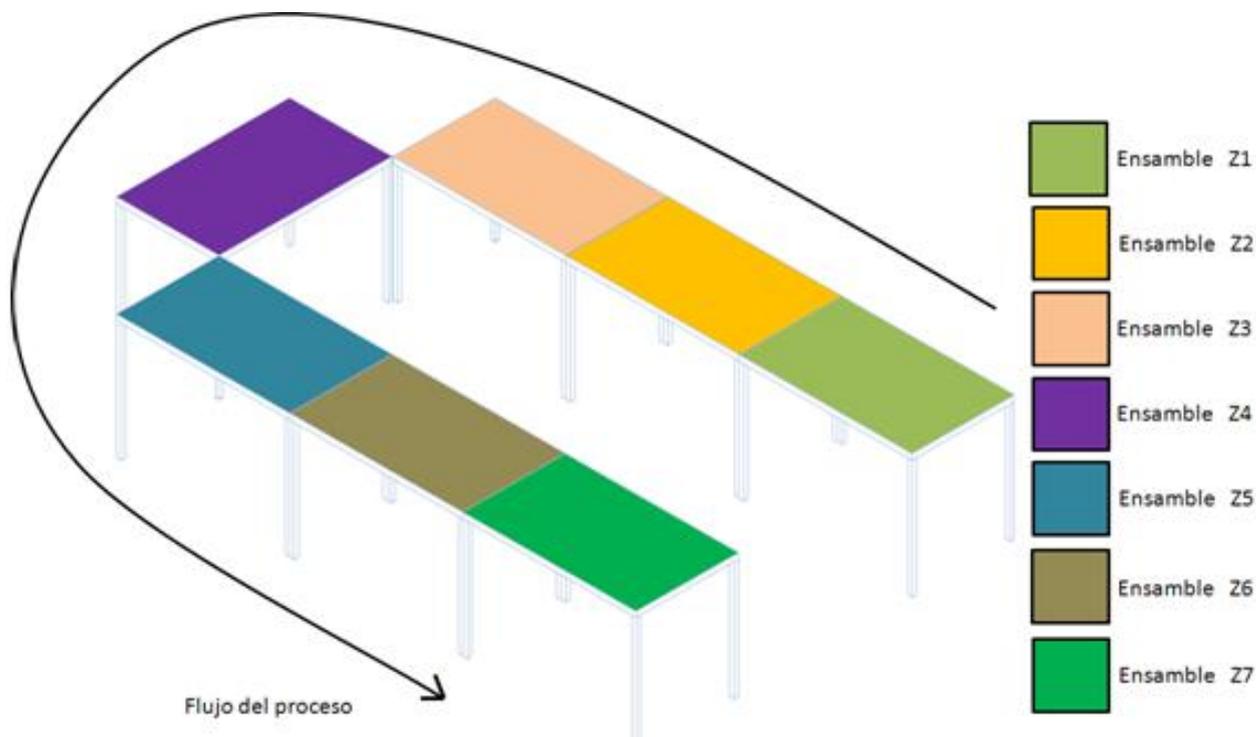


Figura 5.1. Celda de manufactura. Forma “C”.

Tabla 5.1. Recorrido de los operarios dentro de la celda de manufactura.

Operario	Estaciones involucradas en recorrido						
A	1	2	3	1	2	1	2
B	3	4	5	4	5	3	4
C	5	6	7	6	7	6	7

El primer número mostrado en la columna de recorrido, indica la estación con la que inicia el trayecto que debe realizar cada trabajador, los trabajadores cambian a la estación indicada en el siguiente número, al mismo tiempo. Cuando se encuentren en la última posición indicada se reinicia el ciclo.

### **6.1.1.1. Factores ergonómicos.**

Con la información proporcionada durante el análisis de estos factores en la practica 4, se analiza que factores establecidos son necesarios modificar y cuales conservar.

Como los estudios anteriores solo se modificara las condiciones del área de trabajo y no las de su entorno.

Las condiciones que se han decidido conservar, son los dos estantes de madera, esto facilito la realización de las operaciones, en tanto a la posición en que las operaciones son realizadas (posición sentado), por las reglas de la celda de manufactura este factor se tiene que eliminar, ahora las operaciones se tiene que realizar en posición de pie, aunque el operador se tenga que agachar un poco para realizar las operaciones.

### **6.1.1.2. Estandarización del trabajo**

Para la correcta comparación de los diferentes sistemas de producción estudiados, se ha decidido conservar la misma distribución de las piezas, el tiempo de cada operación y la grafica OBC, sin en cambio al modificar el layout de la planta, las hojas de trabajo estandarizado se modificaron, para la explicación de las actividades realizadas en la estación, y el recorrido que tiene que realizar cada operario durante la manufactura del robot de juguete.

Las nuevas hojas de trabajo estandarizado de las diferentes estaciones se presentan a continuación:

Análisis de las operaciones		Fecha de inspección		3 de enero del 2013			
		proceso		Z1 (ensamble de espalda)			
		Piezas involucradas		EO	1	CO	4
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time			
◆	+	▲	0	28.78s			
<p>Observaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los círculos enumerados muestran las posiciones que debe tomar en cada ensamble.</li> <li>Al término del ensamble posicionarse en la siguiente estación enumerada.</li> <li>La inspección se realiza al término de cada ensamble.</li> <li>En caso de existir una falla con el ensamble que se va enviar a el ensamble recibido, informar inmediatamente a la persona a cargo y dar solución al problema.</li> <li>No existen ensamble en proceso (WIP).</li> <li>Colocar sobre la mesa de trabajo la pieza EO, y sobre esta realizar las operaciones subsiguientes.</li> <li>Colocar el ensamble con la mano izquierda en la siguiente estación.</li> </ul>							

Figura 4.10. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 1.

Análisis de las operaciones		Fecha de inspección		3 de enero del 2013					
		proceso		Z2 (ensamble de cadera)					
		Piezas involucradas		AO	2	CO	2	HO	1
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time					
◆	+	▲	0	28.78s					
<p>Observaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los círculos enumerados muestran las posiciones que debe tomar en cada ensamble.</li> <li>Al término del ensamble el operario se moverá a la posición 3, solo si ha realizado tres ensambles de la estación 2, en caso de no haber realizado los ensamble deberá ir a la posición 2.</li> <li>La inspección se realiza al término de cada ensamble.</li> <li>Tomar el ensamble Z1 con la mano derecha.</li> <li>Sujetar el ensamble con la mano derecha, mientras con la mano izquierda realizar el ensamble de la pieza PO, sostener y presionar con ambas manos hasta oír un "click".</li> <li>Tomar el ensamble resultante con la mano izquierda, mientras que con la mano derecha se realizan los siguientes ensambles.</li> <li>Ensamblar las AO hasta el último.</li> <li>Colocar el ensamble con la mano izquierda en la siguiente estación.</li> </ul>									

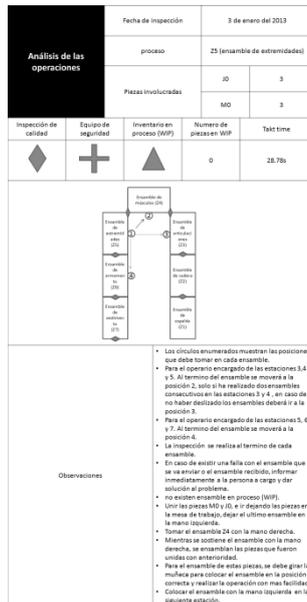
Figura 4.11. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 2.

Análisis de las operaciones		Fecha de inspección		3 de enero del 2013			
		proceso		Z3 (ensamble de articulaciones)			
		Piezas involucradas		C2	4	TD	1
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time			
◆	+	▲	0	28.78s			
<p>Observaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los círculos enumerados muestran las posiciones que debe tomar en cada ensamble.</li> <li>El operario encargado de las estaciones 1, 2 y 3, Al término del ensamble se moverá a la posición 2.</li> <li>El operario encargado de las estaciones 4 y 5, Al término del ensamble se moverá a la posición 3.</li> <li>La inspección se realiza al término de cada ensamble.</li> <li>En caso de existir una falla con el ensamble que se va enviar a el ensamble recibido, informar inmediatamente a la persona a cargo y dar solución al problema.</li> <li>No existen ensamble en proceso.</li> <li>Tomar el ensamble Z2 con la mano derecha.</li> <li>Mientras se sostiene el ensamble con la mano derecha, realizar las operaciones siguientes con la mano izquierda.</li> <li>Para el ensamblado de la pieza C2, se debe girar la muñeca de la mano derecha para posicionar el ensamble y colocar la pieza.</li> <li>Colocar el ensamble con la mano izquierda en la siguiente estación.</li> </ul>							

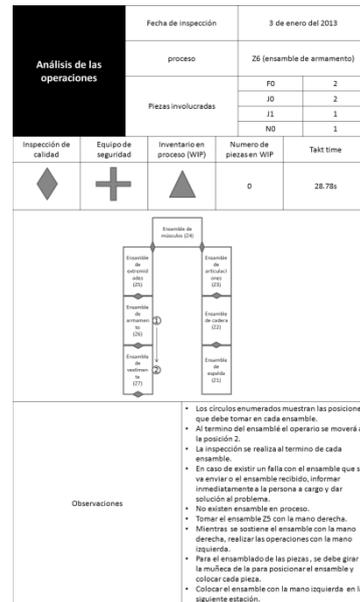
Figura 4.12. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 3.

Análisis de las operaciones		Fecha de inspección		3 de enero del 2013			
		proceso		Z4 (ensamble de músculos)			
		Piezas involucradas		BO	1	MO	4
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time			
◆	+	▲	0	28.78s			
<p>Observaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los círculos enumerados muestran las posiciones que debe tomar en cada ensamble.</li> <li>Al término del ensamble el operario se moverá a la posición 3, solo si ha realizado dos ensambles de la estación 5, en caso de no haber realizado los ensambles deberá ir a la posición 3.</li> <li>La inspección se realiza al término de cada ensamble.</li> <li>En caso de existir una falla con el ensamble que se va enviar a el ensamble recibido, informar inmediatamente a la persona a cargo y dar solución al problema.</li> <li>No existen ensamble en proceso.</li> <li>Tomar el ensamble Z3 con la mano derecha.</li> <li>Mientras se sostiene el ensamble con la mano derecha, realizar las operaciones con la mano izquierda.</li> <li>Para el ensamblado de la pieza MO, se debe girar la muñeca de la mano derecha para posicionar el ensamble y colocar la pieza.</li> <li>Colocar el ensamble con la mano izquierda en la siguiente estación.</li> </ul>							

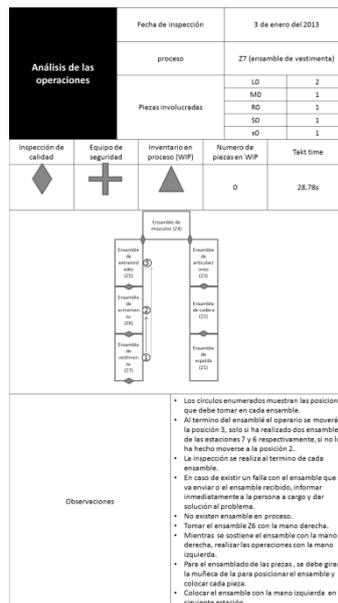
Figura 4.13. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 4.



**Figura 4.14. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 5.**



**Figura 4.15. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 6.**



**Figura 4.16. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 7.**

### ***6.1.2. Análisis de productividad de la celda de manufactura.***

En esta sección se concentrara en el calcular los siguientes aspectos:

- Control estadístico de la calidad.
- Diagrama de Gantt.
- Costos de producción.

Con el fin de observar si los proyectos de transformación han producidos algún cambio en el proceso de manufactura.

#### ***6.1.2.1. Análisis estadístico de la celda de manufactura.***

Se realiza este estudio para saber si las estaciones de trabajo están bajo control y funcionan bajo los estándares de calidad establecidos.

- El rango óptimo es de 1.5 segundos.
- El número de muestras a estudiar serán de 16.
- El tamaño de cada muestra será de 5 mediciones cada una.
- Se utilizara un nivel de confianza ( $z$ ) igual a 3 o del 99.7%.

Se calculan los coeficientes según se enlistan en la tabla 3.1. En este caso al tener una muestra de tamaño 5 los coeficientes a utilizar serán:

$A_2$ : 0.58

$D_3$ : 0

$D_4$ : 2.11

Limites de control para la carta  $\bar{X}$

*Limite de control superior (LCS):*  $29.78+0.58(1.5) = 30.65$

*Limite de control inferior (LCI):*  $29.78-0.58(1.5) = 28.91$

Límites de control para el rango (R).

Límite de control superior (LCS):  $2.11(1.5) = 3.165$

Límite de control inferior (LCI):  $0(1) = 0$

Una vez que se establecieron los límites, se realiza el análisis de las estaciones de trabajo. Los análisis de las estaciones de trabajo se presentan a continuación.

Estación 1.

En la tabla 5.2 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

Tabla 5.2. Muestreo de tiempos de la estación 1.

Muestreo estación 1							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	29,81	29,69	29,79	29,68	29,46	29.69	0.35
2	29,67	30,18	29,81	30,09	28,97	29.74	1.21
3	29,53	29,84	29,68	29,38	29,76	29.64	0.46
4	28,99	29,74	29,67	29,67	30,12	29.64	1.13
5	29,37	29,94	29,87	29,66	29,54	29.68	0.57
6	29,29	28,99	29,81	29,62	29,74	29.49	0.82
7	29,87	29,61	29,71	29,83	28,97	29.60	0.90
8	29,68	29,53	29,73	30,34	29,26	29.71	1.08
9	29,53	29,24	29,71	29,83	28,95	29.45	0.88
10	29,85	29,76	29,61	30,42	29,42	29.81	1.00
11	29,73	29,56	29,37	29,51	29,55	29.54	0.36
12	29,75	29,67	28,98	29,83	29,58	29.56	0.85
13	29,58	29,58	29,84	29,51	29,71	29.64	0.33
14	29,54	29,68	29,83	29,58	29,64	29.65	0.29
15	29,68	29,98	29,68	29,67	28,97	29.60	1.01
16	29,79	29,68	29,11	29,75	29,61	29.59	0.68
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 29.626$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 0.745$

En la figura 5.2 se muestra las cartas de control de la estación 1.

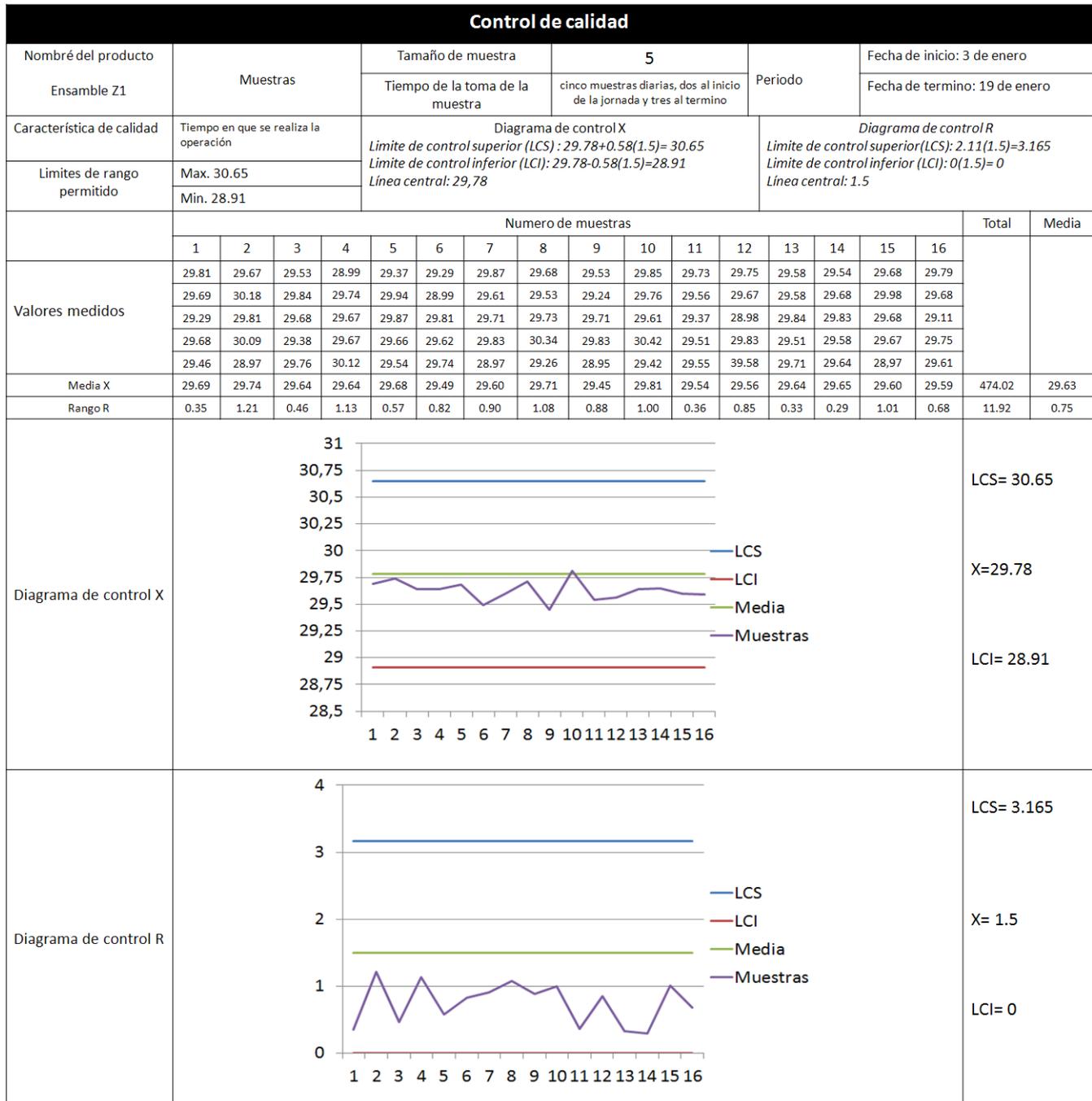


Figura 5.2. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 1.

En el gráfico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran dentro de los límites de control, y estos presentan un comportamiento estable.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen una variación estable, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma un poco más rápido de lo que estaba previsto.

En la tabla 5.3 se muestra los errores del ensamble de la estación 1, y como esta no presenta errores no se realiza el diagrama P.

**Tabla 5.3. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P						
Nombre de la parte	Ensamble Z1		Tamaño de la muestra			5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo			Observaciones
			Mal ensamble de las piezas			
			CO	C1	EO	
1	0	0.00	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	
<b>TOTALES</b>	0	0.00	0	0	0	

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad, esto se logra mediante las ecuaciones 3.11, 3.12 y 1.9.

$$\sigma_1 = 0.29$$

$$C_{pk} = \frac{30.65 - 29.78}{3(0.29)} = 1.00$$

$$C_p = \frac{30.65 - 28.91}{6(0.29)} = 1.00$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra en el margen de porcentaje acéptale es de 0.270%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 1 es satisfactorio.

*Estación 2.*

En la tabla 5.4 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 5.4. Muestreo de tiempos de la estación 2.**

Muestreo estación 2							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	29.41	29.27	30.64	30.15	30.15	29.92	1.37
2	30.18	29.38	29.67	29.69	29.25	29.63	0.93
3	29.34	29.68	29.48	29.64	29.67	29.56	0.34
4	29.67	29.87	29.83	29.47	29.49	29.67	0.40
5	29.98	29.81	29.46	29.58	29.64	29.69	0.52
6	30.15	29.93	29.89	29.39	29.25	29.72	0.90
7	30.55	30.43	29.69	29.73	29.68	30.02	0.87
8	29.64	30.29	29.94	29.68	29.45	29.80	0.84
9	29.88	29.67	29.95	29.72	29.46	29.74	0.49
10	29.37	29.55	29.68	29.79	29.56	29.59	0.42
11	29.43	29.68	29.48	29.64	29.73	29.59	0.30
12	30.11	29.83	29.38	29.73	29.67	29.74	0.73
13	30.22	29.38	29.47	29.83	29.43	29.67	0.84
14	29.68	29.48	29.58	30.25	29.38	29.67	0.87
15	29.47	29.83	29.67	30.22	29.71	29.78	0.75
16	29.36	30.21	29.73	29.69	29.68	29.73	0.85
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}}=29.721$	Promedio de los rangos $\bar{R}=0.714$

En la figura 5.3 se muestra las cartas de control de la estación 2.

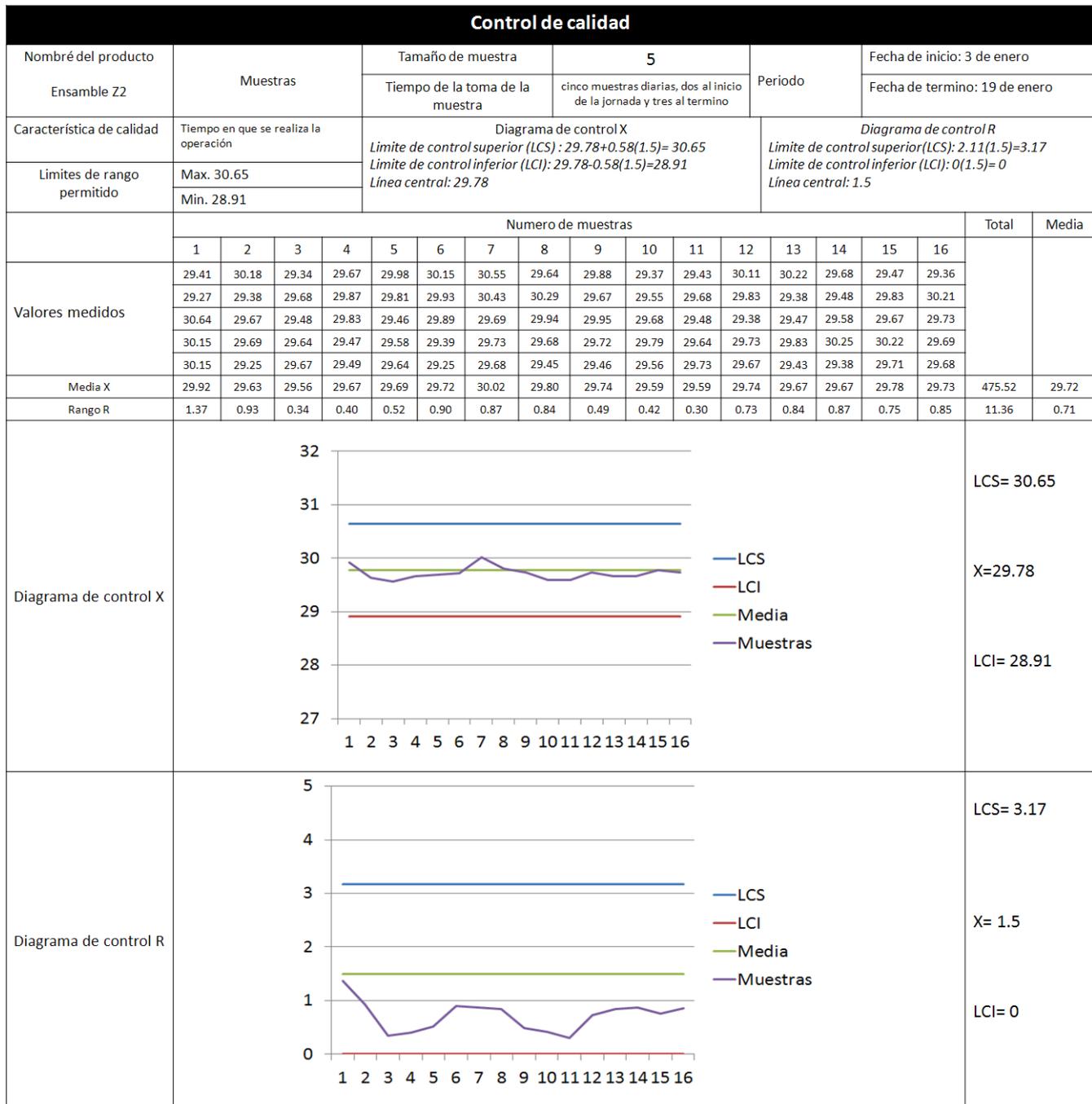


Figura 5.3. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 2.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran dentro de los límites de control, y estos presentan un comportamiento estable.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen una variación estable, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más homogénea de lo que estaba previsto.

En la tabla 5.5 se muestra los errores del ensamble de la estación 2.

**Tabla 5.5. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P							
Nombre de la parte	Ensamble Z2		Tamaño de la muestra				5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo				Observaciones
			Mal ensamble de las piezas				
			A0	CO	HO	PO	
1	0	0.00	0	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	0	
TOTALES	0	0.00	0	0	0	0	

Durante las pruebas de ensamblado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad.

$$\sigma_2 = 0.30$$

$$C_{pk} = \frac{30.65 - 29.78}{3(0.30)} = 0.97$$

$$C_p = \frac{30.65 - 28.91}{6(0.30)} = 0.97$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas es de aproximadamente de 0.270%.

Aunque los índices sean menores a 1, se puede concluir que la producción en la estación es satisfactoria.

*Estación 3.*

En la tabla 5.6 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 5.6. Muestreo de tiempos de la estación 3.**

Muestreo estación 3							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	29.68	29.38	29.43	29.76	29.48	29.55	0.38
2	29.37	29.73	29.47	29.49	29.76	29.56	0.39
3	29.56	29.43	29.67	29.38	29.73	29.55	0.35
4	29.78	29.46	29.73	29.61	29.91	29.70	0.45
5	29.38	29.73	30.52	29.31	29.73	29.73	1.21
6	29.17	29.59	30.11	30.28	29.18	29.67	1.11
7	29.38	29.69	29.37	30.68	30.28	29.88	1.31
8	29.89	29.43	29.68	29.17	29.61	29.56	0.72
9	29.99	29.67	29.38	29.37	29.63	29.61	0.62
10	30.17	29.59	29.64	29.43	29.68	29.70	0.74
11	30.15	29.48	29.88	29.54	29.46	29.70	0.69
12	29.68	29.37	29.47	29.28	30.28	29.62	1.00
13	29.78	29.68	29.73	29.27	29.57	29.61	0.51
14	29.38	29.78	29.37	29.83	29.61	29.59	0.46
15	29.55	29.73	29.56	29.37	29.61	29.56	0.36
16	29.52	29.59	29.84	29.67	29.29	29.58	0.55
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}}=29.635$	Promedio de los rangos $\bar{R}=0.678$

En la figura 5.4 se muestra las cartas de control de la estación 3.

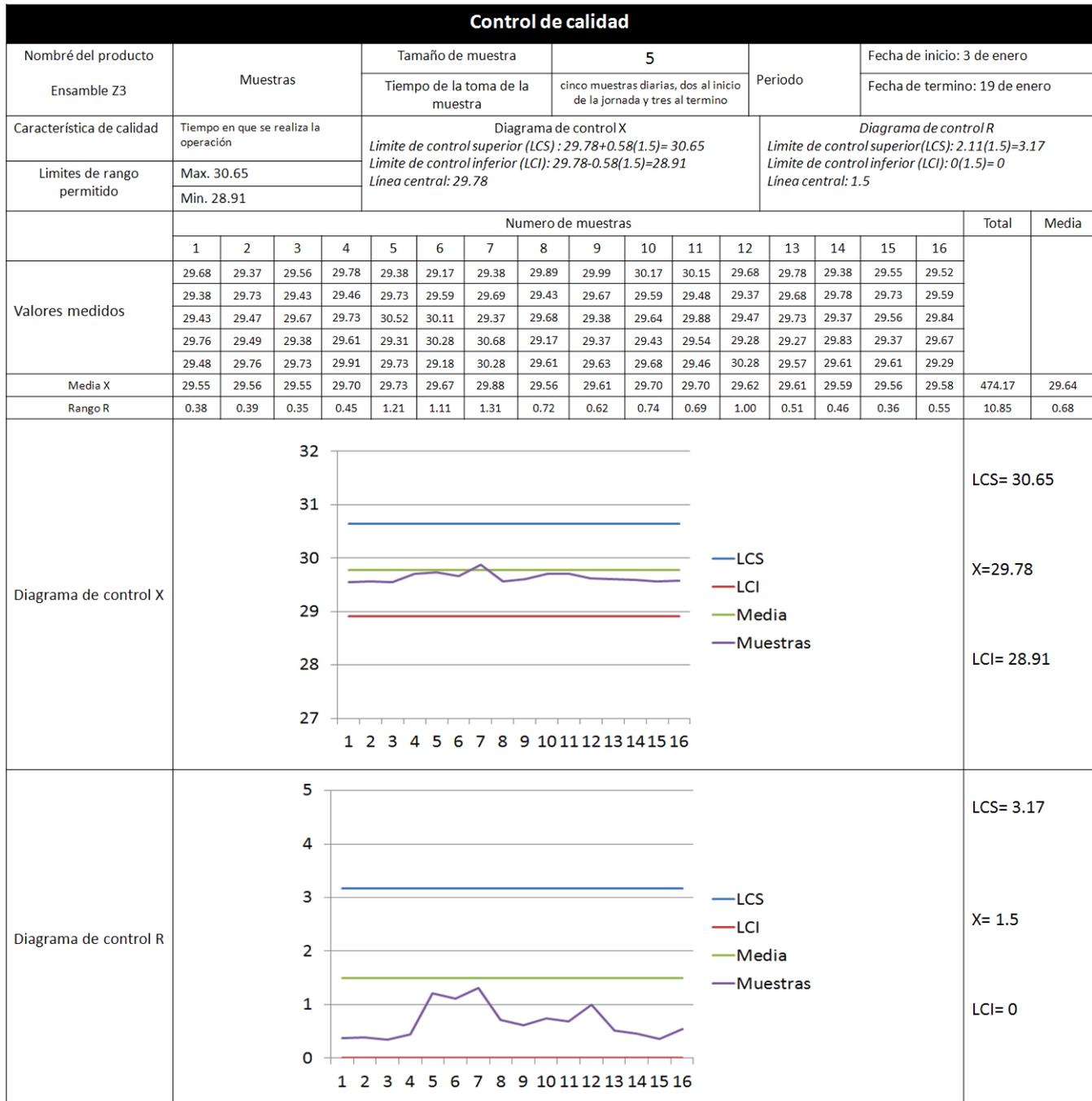


Figura 5.4. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 3.

En el gráfico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran dentro de los límites de control, y estos presentan un comportamiento estable.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen poca variación, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más rápida de lo esperado, pero estas salen a un ritmo demasiado variable, siendo que las piezas salgan de forma intermitente.

En la tabla 5.7 se muestra los errores del ensamble de la estación 3.

**Tabla 5.7. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P						
Nombre de la parte	Ensamble Z3		Tamaño de la muestra		5	
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo			Observaciones
			Mal ensamble de las piezas			
			C2	T0	W0	
1	0	0.00	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	
<b>TOTALES</b>	0	0.00	0	0	0	

Durante las pruebas de ensablado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad.

$$\sigma_3 = 0.29$$

$$C_{pk} = \frac{30.65 - 29.78}{3(0.29)} = 1.00$$

$$C_p = \frac{30.94 - 28.62}{6(0.29)} = 1.00$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas solo es de 0.270%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 3 es satisfactorio.

*Estación 4.*

En la tabla 5.8 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 5.8. Muestreo de tiempos de la estación 4.**

Muestreo estación 4							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	29.46	29.64	29.47	29.89	29.44	29.58	0.45
2	29.67	29.73	29.38	29.73	29.88	29.68	0.50
3	29.83	29.89	29.94	29.37	29.67	29.74	0.57
4	29.73	29.64	29.39	29.67	28.91	29.47	0.82
5	29.67	29.58	29.48	29.81	29.95	29.70	0.47
6	29.46	29.39	29.64	29.73	28.95	29.43	0.78
7	29.61	29.17	29.73	29.98	29.94	29.69	0.81
8	29.43	29.74	29.46	29.79	29.68	29.62	0.36
9	29.37	29.38	29.65	29.66	28.92	29.40	0.74
10	29.43	29.48	29.55	29.58	29.78	29.56	0.35
11	29.73	29.73	29.94	29.48	29.61	29.70	0.46
12	29.43	29.55	29.77	29.67	29.11	29.51	0.66
13	29.89	29.57	29.37	29.79	29.37	29.60	0.52
14	29.45	29.64	29.48	29.69	29.33	29.52	0.36
15	29.72	29.67	29.56	29.95	29.87	29.75	0.39
16	29.78	29.58	29.79	29.68	29.41	29.65	0.38
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 29.599$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 0.539$

En la figura 5.5 se muestra las cartas de control de la estación 4.

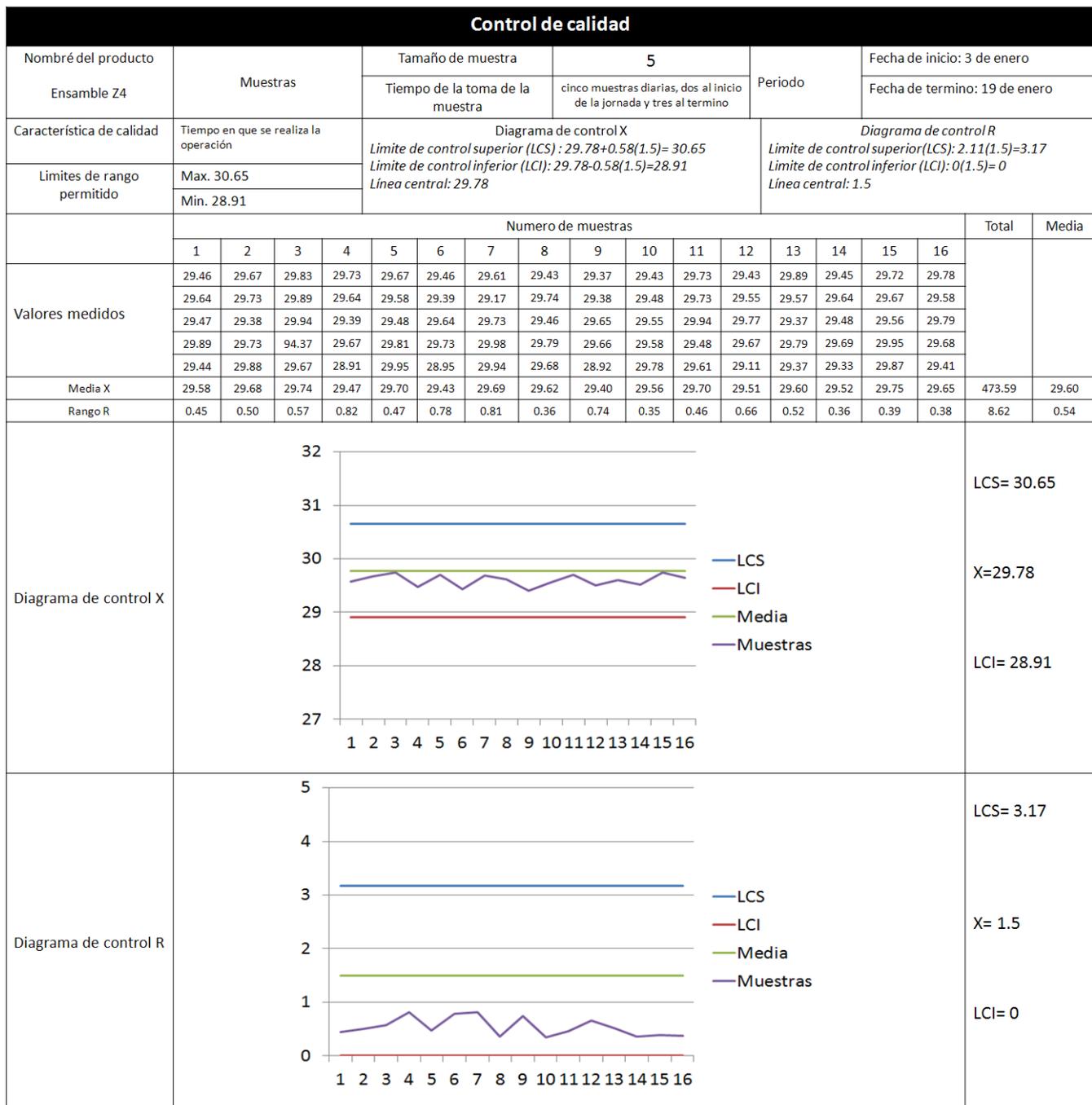


Figura 5.5. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 4.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran por encima del valor promedio, lo cual indica que se produce con un mayor tiempo que los demás, lo que ocasiona una tendencia hacia que la siguiente estación tenga tiempo y que esta tenga una posible

carga de trabajo. Por otro lado los valores se presentan estables por lo cual estos no rebasaran el límite superior.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen poca variación, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más rápida de lo esperado, pero estas salen cada vez más lento.

En la tabla 5.9 se muestra los errores del ensamble de la estación 4.

**Tabla 5.9. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P						
Nombre de la parte	Ensamble Z4		Tamaño de la muestra			5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo			Observaciones
			Mal ensamble de las piezas			
			BO	MO	YO	
1	0	0.00	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	
<b>TOTALES</b>	0	0.00	0	0	0	

Durante las pruebas de ensablado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P. Aunque por los retrasos observados en las cartas  $\bar{X}$  y R, se estima que se cometerán varios errores debido al sobre trabajo.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad.

$$\sigma_4 = 0.23$$

$$C_{pk} = \frac{30.65 - 29.78}{3(0.23)} = 1.26$$

$$C_p = \frac{30.65 - 28.91}{6(0.23)} = 1.23$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas solo es de 0.032%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 4 es ampliamente satisfactorio.

*Estación 5.*

En la tabla 5.10 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 5.10. Muestreo de tiempos de la estación 5.**

Muestreo estación 5							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	29.68	30.15	30.22	29.33	29.66	29.81	0.89
2	29.48	29.28	30.02	29.42	29.48	29.57	0.74
3	29.37	29.79	29.19	29.59	29.17	29.42	0.62
4	29.51	29.67	29.21	29.54	29.38	29.46	0.56
5	29.28	30.11	29.38	29.67	29.77	29.64	0.83
6	29.79	29.49	29.46	29.18	29.75	29.53	0.61
7	29.48	29.78	29.58	29.56	29.45	29.57	0.33
8	29.19	29.68	29.73	29.34	29.18	29.42	0.55
9	28.94	29.67	29.29	29.48	29.46	29.37	0.73
10	29.67	29.99	29.67	29.67	29.35	29.67	0.64
11	29.22	29.23	29.37	29.38	29.58	29.36	0.36
12	29.67	29.53	30.18	29.81	29.57	29.75	0.65
13	29.37	29.17	28.92	29.47	29.88	29.36	0.96
14	29.69	29.73	29.95	29.67	29.49	29.71	0.46
15	29.41	29.51	30.67	29.58	29.37	29.71	1.30
16	29.55	29.38	29.79	29.91	29.11	29.55	0.80
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 29.554$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 0.689$

En la figura 5.6 se muestra las cartas de control de la estación 5.

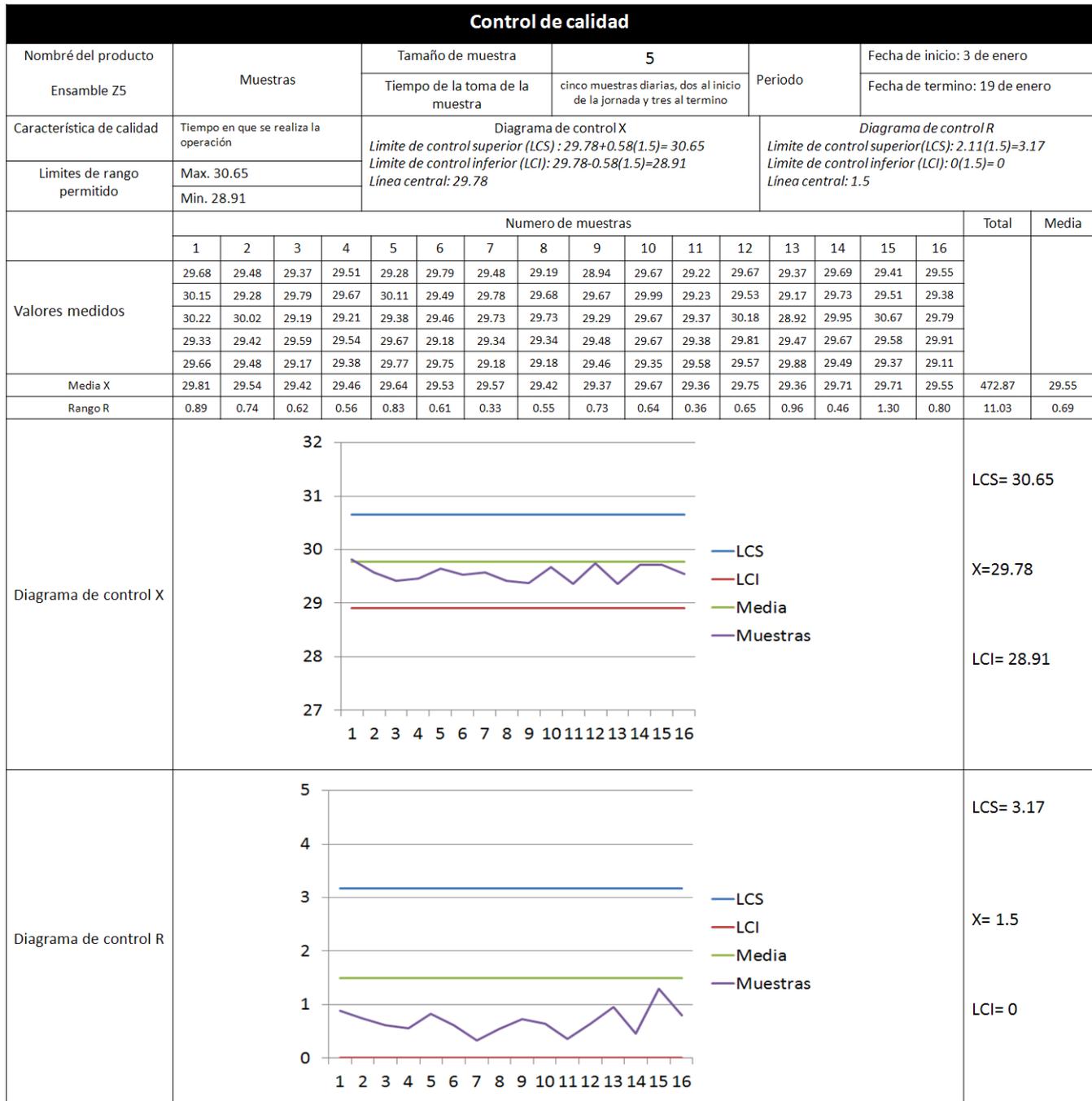


Figura 5.6. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 5.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo cual indica que se produce con un menor tiempo que los demás, lo que ocasiona una tendencia hacia que la siguiente estación sea sobre cargada de trabajo y que esta tenga

tiempo de ocio. Por otro lado los valores se presentan estables por lo cual estos no rebasaran el límite inferior.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen poca variación, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más rápida de lo esperado.

En la tabla 5.11 se muestra los errores del ensamble de la estación 5.

**Tabla 5.11. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P					
Nombre de la parte	Ensamble Z5		Tamaño de la muestra	5	
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo		Observaciones
			Mal ensamble de las piezas		
			J0	M0	
1	0	0.00	0	0	
2	0	0.00	0	0	
3	0	0.00	0	0	
4	0	0.00	0	0	
5	0	0.00	0	0	
6	0	0.00	0	0	
7	0	0.00	0	0	
8	0	0.00	0	0	
9	0	0.00	0	0	
10	0	0.00	0	0	
11	0	0.00	0	0	
12	0	0.00	0	0	
13	0	0.00	0	0	
14	0	0.00	0	0	
15	0	0.00	0	0	
16	0	0.00	0	0	
<b>TOTALES</b>	0	0.00	0	0	

Durante las pruebas de ensablado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P. Aunque por los retrasos observados en las cartas  $\bar{X}$  y R, se estima que se cometerán varios errores debido al sobre trabajo.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad.

$$\sigma_5 = 0.30$$

$$C_{pk} = \frac{30.65 - 29.78}{3(0.30)} = 0.97$$

$$C_p = \frac{30.65 - 28.91}{6(0.30)} = 0.97$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas es de aproximadamente de 0.270%.

Aunque los índices sean menores a 1, se puede concluir que la producción en la estación es satisfactoria.

*Estación 6.*

En la tabla 5.12 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 5.12. Muestreo de tiempos de la estación 6.**

Muestreo estación 6							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	29.79	29.37	29.61	29.56	30.12	29,69	0.75
2	29.48	29.47	29.73	29.68	29.68	29,61	0.26
3	29.67	29.38	29.48	29.73	29.74	29,80	0.90
4	29.73	29.52	29.34	29.49	29.79	29,57	0.45
5	29.58	29.55	29.49	29.88	29.53	29,61	0.39
6	29.57	29.45	29.58	29.87	29.15	29,52	0.72
7	29.22	29.38	29.79	29.91	29.25	29,51	0.69
8	29.37	29,67	29.83	29.57	29.68	29,62	0.46
9	29.64	29.38	29.69	29.68	29.79	29,64	0.41
10	29.12	29.21	28.95	29.49	29.67	29,49	1.17
11	29.25	29.43	29.67	29.59	29.53	29,49	0.42
12	29.38	29.58	29.89	29.85	29.67	29,67	0.51
13	29.68	29.46	29.81	29.69	29.48	29,62	0.35
14	29.47	29.48	29.68	29.47	29.79	29,58	0.32
15	29.56	29.25	29.73	29.84	29.83	29,64	0.59
16	29.31	29.45	29.84	29.67	29.95	29,78	1.33
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 29.616$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 0.607$

En la figura 5.7 se muestra las cartas de control de la estación 6.

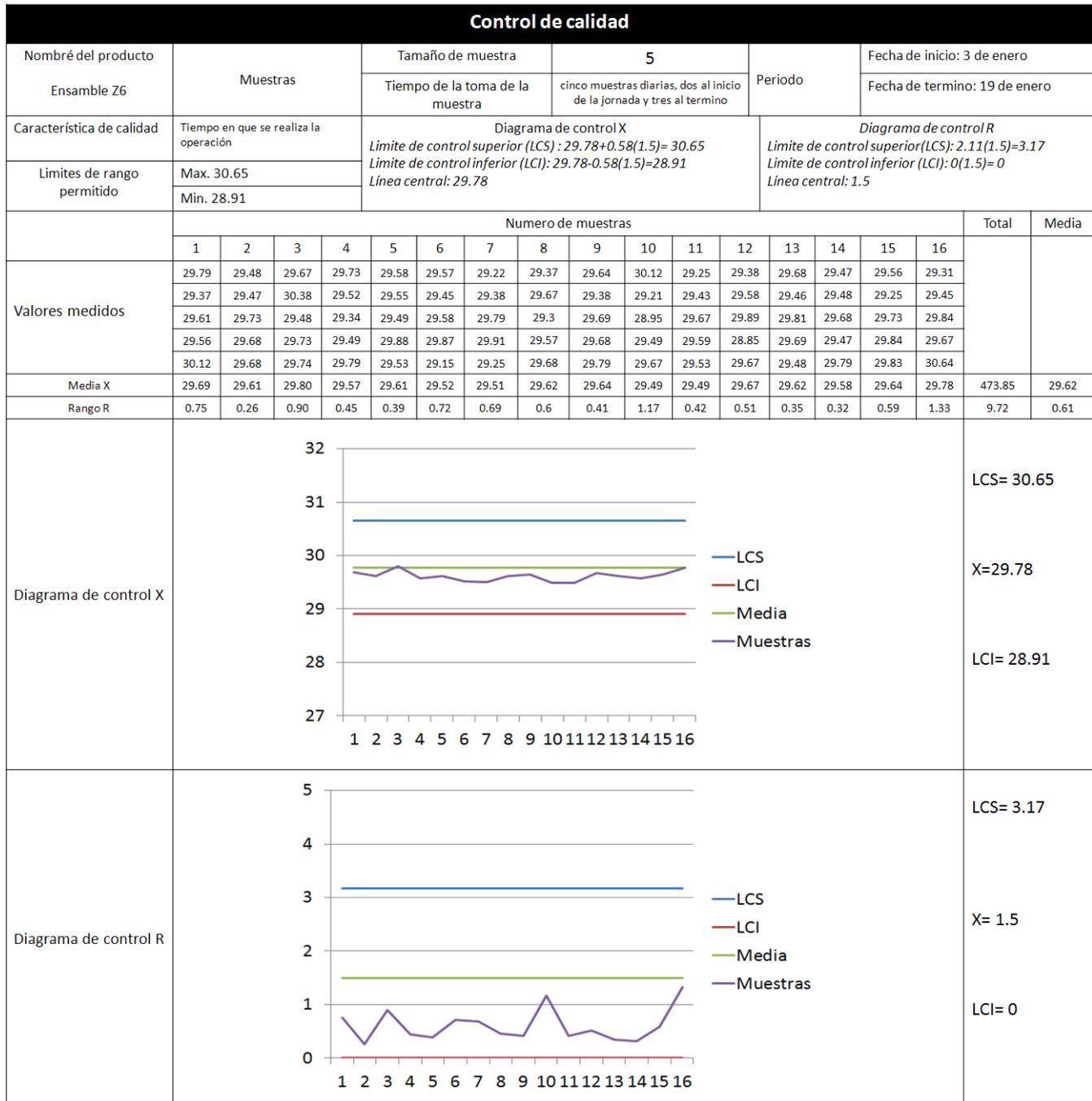


Figura 5.7. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 6.

En el gráfico  $\bar{X}$  se observa que los datos tienen un comportamiento estable en el límite central.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen una variación estable, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más homogénea de lo que estaba previsto.

En la tabla 5.13 se muestra los errores del ensamble de la estación 6.

**Tabla 5.13. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P							
Nombre de la parte	Ensamble Z6		Tamaño de la muestra				5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo				Observaciones
			Mal ensamble de las piezas				
			FO	JO	J1	NO	
1	0	0.00	0	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	0	
<b>TOTALES</b>	0	0.00	0	0	0	0	

Durante las pruebas de ensablado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad.

$$\sigma_6 = 0.25$$

$$C_{pk} = \frac{30.65 - 29.78}{3(0.25)} = 1.16$$

$$C_p = \frac{30.65 - 28.91}{6(0.25)} = 1.16$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas solo es de 0.097%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 6 es satisfactorio.

*Estación 7.*

En la tabla 5.14 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 5.14. Muestreo de tiempos de la estación 7.**

Muestreo estación 7							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	29.68	29.37	29.38	29.55	29.38	29.47	0.31
2	30.29	29.38	29.69	29.51	29.63	29.70	0.91
3	29.78	29.15	29.79	29.68	30.61	29.80	1.46
4	29.67	29.71	29.47	29.38	29.41	29.53	0.33
5	29.48	29.68	29.37	29.61	29.53	29.53	0.31
6	29.65	29.43	29.48	29.28	29.68	29.50	0.30
7	29.38	29.66	29.42	29.78	30.12	29.67	0.74
8	29.89	29.88	29.67	29.55	30.28	29.85	0.73
9	29.71	29.68	29.38	29.56	28.94	29.45	0.77
10	29.73	29.41	29.64	29.81	29.68	29.65	0.40
11	30.51	29.73	29.78	29.37	29.79	29.84	1.14
12	29.68	29.54	30.15	29.95	29.94	29.85	0.61
13	29.48	29.35	30.25	29.83	29.38	29.66	0.90
14	29.37	29.59	30.28	29.74	29.74	29.74	0.91
15	29.58	29.49	29.97	29.68	29.51	29.65	0.48
16	29.37	29.37	28.97	29.67	29.25	29.33	0.70
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 29.639$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 0.687$

En la figura 5.8 se muestra las cartas de control de la estación 7.

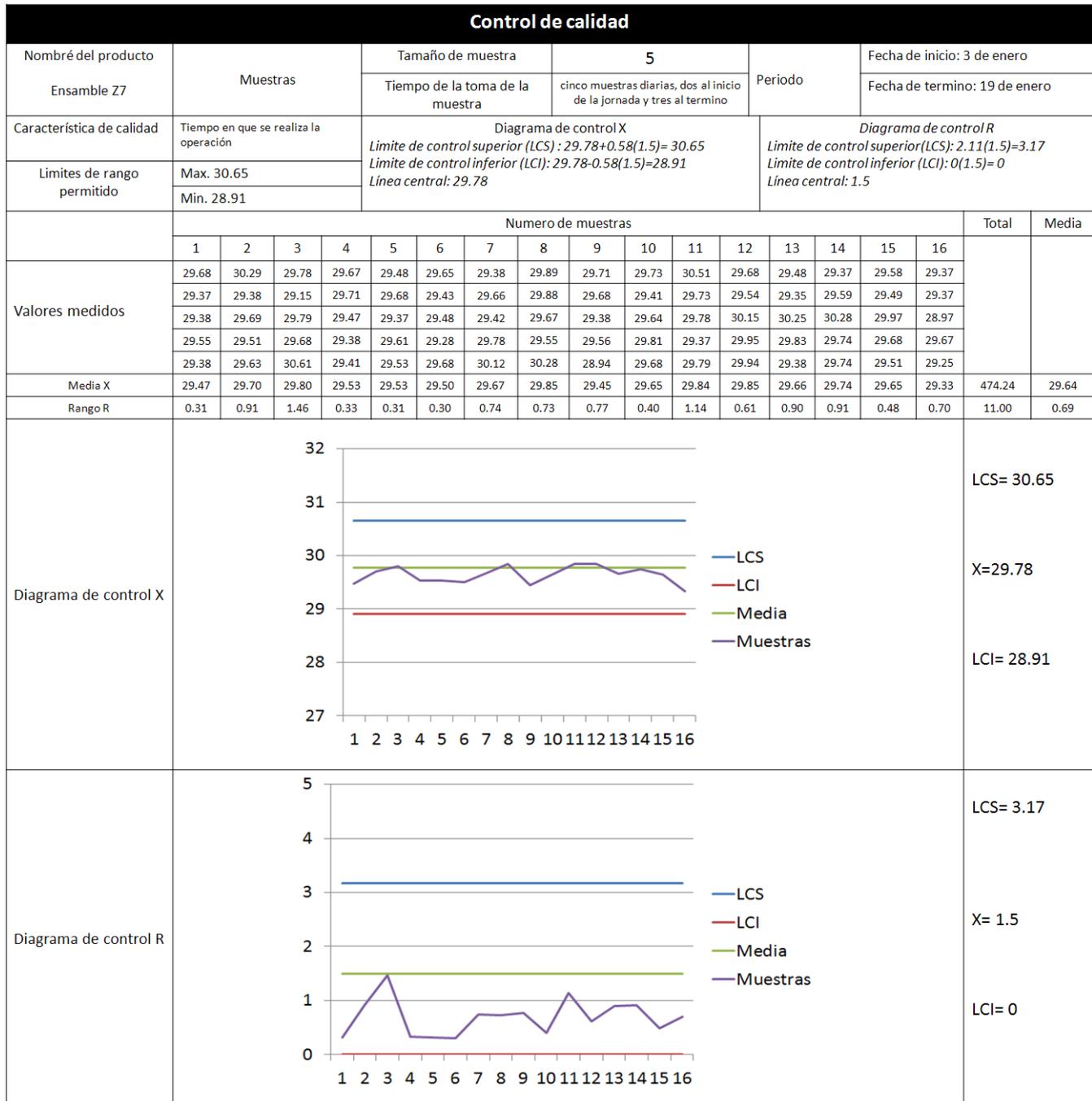


Figura 5.8. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 7.

En el gráfico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran sobre el valor promedio, con un comportamiento estable.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen poca variación, aunque se presenten leves picos, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que podría provocar a largo plazo que las piezas salgan de la estación de forma homogénea de lo que estaba previsto.

En la tabla 5.15 se muestra los errores del ensamble de la estación 7.

**Tabla 5.15. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P								
Nombre de la parte	Ensamble Z7		Tamaño de la muestra					5
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo					Observaciones
			Mal ensamble de las piezas					
			LO	MO	RO	SO	WO	
1	0	0.00	0	0	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	0	0	
TOTALES	0	0.00	0	0	0	0	0	

Durante las pruebas de ensamblado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad, esto se logra mediante las ecuaciones 3.9, 3.10 y 1.9.

$$\sigma_7 = 0.30$$

$$C_{pk} = \frac{30.65 - 29.78}{3(0.30)} = 0.97$$

$$C_p = \frac{30.65 - 28.91}{6(0.30)} = 0.97$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas es de aproximadamente de 0.270%.

Aunque los índices sean menores a 1, se puede concluir que la producción en la estación es satisfactoria.

### **6.1.2.2. *Análisis de costo unitario de producción.***

Este análisis se realiza para saber si los costos de producción se lograron disminuir con las mejoras aplicadas.

Para el cálculo del costo unitario de producción se toman en cuenta los siguientes pasivos.

- Costos de materia prima
- Costos de mano de obra.
- Gastos administrativos.

Recordando que este análisis se realizará con las mismas condiciones que el realizado en la práctica 3.

- Costos de materia prima (CDP).

Este costo se obtuvo durante la práctica 3, presentado en la tabla 3.15: Costo de la materia prima es de \$11470.20 mensuales.

- Costos de mano de obra (CMO).

Partiendo del conocimiento que se conservan el salario mensual obtenido en la práctica 3 (\$3900.00), se calcula los costos de mano de obra:

Teniendo en cuenta que en la celda de manufactura hay 3 operarios, el costo total de mano de obra es de: \$11700.00

- Costos administrativos (CAD).

Este costo se obtuvo durante la práctica 3, presentado en la tabla 3.16: Costos administrativos es de \$34292.50 mensuales.

Con la información anterior y las ecuaciones 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 se calculan los costos de producción la rentabilidad del producto:

Utilizando las ecuaciones anteriores nos queda:

Costo de producción:

$$CPD = 11470.20 + 11700.00 + 34292.50$$

$$CPD = \$57462.70$$

Costo unitario (CU):

$$CU = \frac{57462.70}{24165} = \$2.38$$

Precio de venta (PV):

Si se desea tener un margen de utilidad del 30%, el precio de venta ofertado será de:

$$PV = \frac{2.38}{1-(0.30)}$$

$$PV = \$3.4 \text{ por unidad}$$

Para conocer si este sistema rentable o no, se calcula la cantidad de robots que se producen en un mes y se multiplica por el precio de venta, a este resultado se le resta los gastos cálculos y se obtiene las ganancias mensuales promedio. Para el cálculo de esta información se hará uso de la ecuación 1.10 y la información proporcionada por la tabla 4. 4.

$$Pd = \frac{28800 - 207.40}{29.78} = 960.12 \approx 960 \text{ piezas producidas diariamente}$$

$$\text{ingresos mensuales} = (960)(3.4)(25) = 81600$$

Si restamos a los ingresos mensuales los costos de producción se obtendrá las ganancias mensuales:

$$81600 - 57462.70 = 24137.30$$

Se puede concluir que la línea de producción es un negocio rentable ya que los ingresos superan a los egresos.

### 6.1.2.3. Análisis del diagrama de Gantt.

Tomando en consideración los resultados obtenidos, se realiza el diagrama de Gantt, mostrado en la figura 4.25, en este diagrama las barras de color azul muestran el tiempo ideal que se necesita para producir 960 unidades, mientras que las barras de color rojo muestran el tiempo de seguridad del 5% del tiempo de producción, para producir los posibles faltantes o reponer el tiempo perdido por retrasos, accidentes o cualquier imprevisto posible.

Se obtiene la cantidad de días necesarios cubrir esta demanda, dividiendo la demanda mensual entre la cantidad de piezas producidas diariamente.

$$\frac{\text{demanda}}{\text{piezas producidas en un día}} = \frac{24165}{960} = 25.17 \text{ días} \approx 26 \text{ días}$$

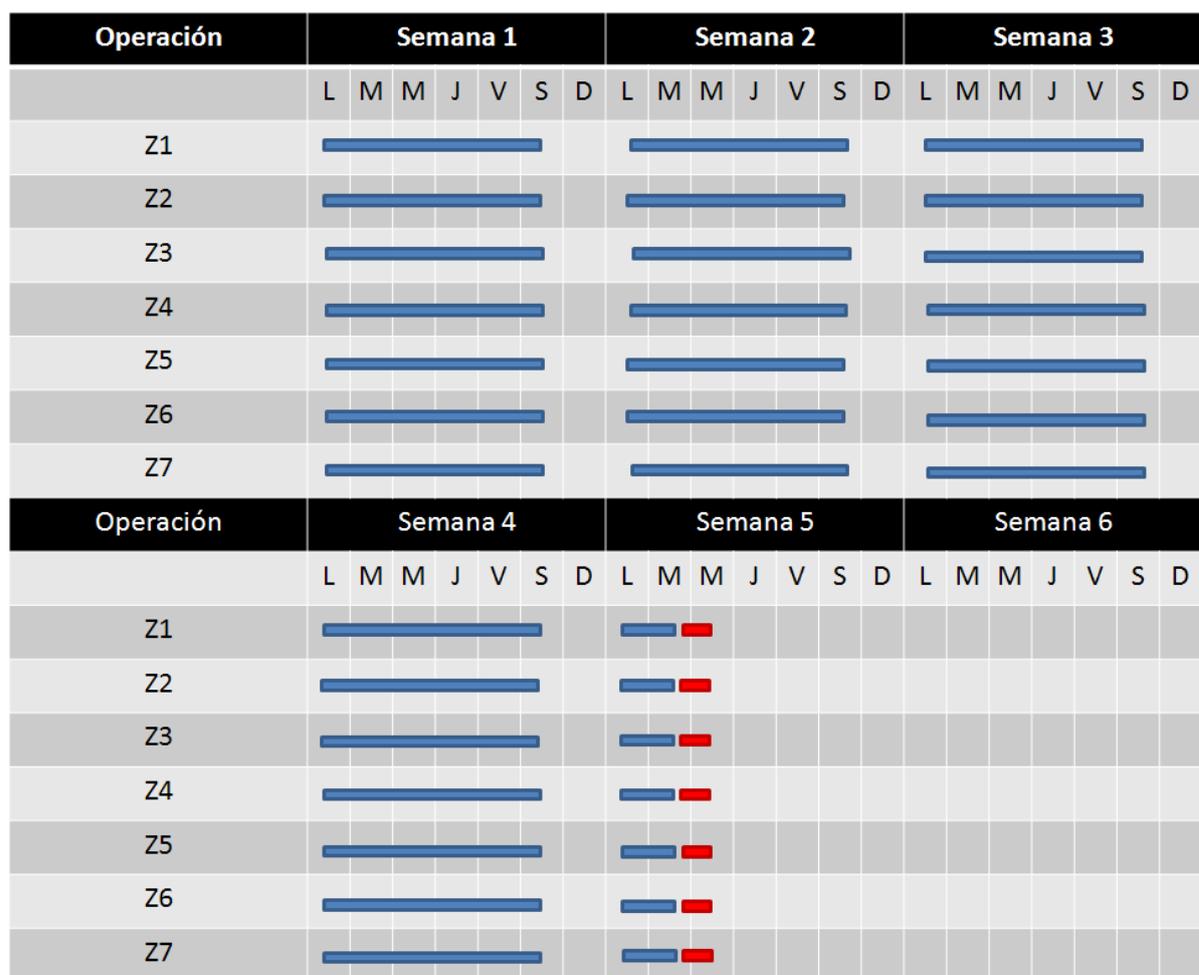


Figura 4.25. Diagrama de Gantt.

### 6.1.3. Resultados.

- Todas las estaciones presentaron un índice de capacidad por lo menos de 1; esto se debió principalmente a que los estudiantes conocían los ensambles, y realizaban estos con mayor rapidez que en las pruebas anteriores, incluso se podría suponer que llegaron al punto máximo en la curva de aprendizaje.
- Durante el análisis estadístico, más específicamente en los diagramas R, se muestra un comportamiento estable en todas las estaciones, pero con “picos”, estos resultados se establecieron con bajo control ya que ninguno de los datos rebaso los niveles establecidos.

Por otra parte los picos se ocasionaron principalmente por equivocaciones con respecto al recorrido dentro de la celda de manufactura.

- En los diagramas “P” no se registro ningún error de ensamblado, pero como se menciona en el punto anterior los errores de recorrido afectaron el rendimiento de la celda, aunque durante las pruebas no mostraron errores el proceso no esta exento de errores de ensamblado.
- El tiempo promedio de las estaciones es de aproximadamente 29.63 segundos 0.15 segundos que el promedio establecido.
- Se redujo el área utilizada para el área de manufactura de 25.10 metros cuadrados (sin contar los márgenes de seguridad) a 8.80 metros cuadrados.
- Mediante la ecuación 1.10 se calcula la producción diaria mediante este sistema;

$$Pd = \frac{28800 - 207.40}{29.78} = 960.13 \approx 960 \text{ piezas producidas diariamente}$$

Las mismas unidades que el sistema anterior, pero si se toma en cuenta que las estaciones de trabajo tienen un promedio mas bajo que el establecido, la cantidad de unidades producidas se incrementa.

- Las ganancias mensuales son menores que el sistema anterior, pero si se mantiene el precio de venta de la línea de producción, las ganancias se incrementarían un 37%

Pensando este resultado de otro punto de vista al reducir el precio del producto se incrementaría la demanda (según las leyes de la oferta y la demanda), lo que a su vez ocasiona que se vendan más unidades, y por tanto la obtención de una mayor ganancia.

- Tomando en cuenta el espacio disponible que se utilizo durante las practicas anteriores; después de establecer una celda de manufactura y que la cantidad de

productos que se pueden producir cada una es de 960, se podrían establecer hasta 3 celdas de manufactura ocasionando así una producción total de 2880 unidades diarias; lo que ocasionaría que se produjeran más productos a menor costo, lo que significa que se podría tener una gran ventaja competitiva contra la competencia y absorber una mayor parte del mercado.

## ***6.2. Corrección de problemas de la celda de producción***

Para mejorar este sistema no se realiza una identificación de los errores dentro de la celda, ya que en las muestras realizadas no se produjeron errores. Sin embargo el error más significativo durante las pruebas fue la confusión en el recorrido de los operadores dentro de la celda de manufactura. Para simplificar el recorrido se ha decidido cambiar la forma de la celda y la cantidad de estaciones involucradas, con el riesgo de afectar los tiempos de producción y el tiempo asignado para realizar las operaciones (tiempo takt).

### ***6.2.1 Definición de proyectos kaizen.***

Para mejorar un sistema cuyo análisis estadístico no registro errores, y teniendo en mente una mejora continua, se ha decidido realizar un sistema kaizen de forma empírica, es decir, con lo aprendido durante el desarrollo de las prácticas, establecer ideas que nos permitan disminuir tiempos de ensamble, disminuir operadores o estaciones de trabajo y disminuir costos y espacio.

Para poder realizar todo esto se planeo establecer las siguientes modificaciones al sistema anterior:

- Trabajar en una celda de manufactura en forma de “L” invertida.
- Solo habrá 3 estaciones de trabajo.
- Solo habrá 2 operadores dentro de la celda.

### 6.2.1.1 Definición del tiempo takt

No se puede aplicar la formula 4.1, ya que al tener los mismos datos que en la parte anterior, y como se ha mencionado, que solo existirán 3 estaciones de trabajo se calculará el tiempo takt dividiendo el tiempo ciclo obtenido del estudio estadístico de la celda de manufactura anterior entre 3.

$$\text{Tiempo takt} = \frac{207.40s}{3} = 69.13s$$

### 6.2.1.2 Balanceo de la línea.

Para realizar el balanceo de línea se hará uso de la grafica de balanceo de operadores (OBC). En la figura 4.6 se muestra la grafica OBC, donde se muestra los procesos realizados.

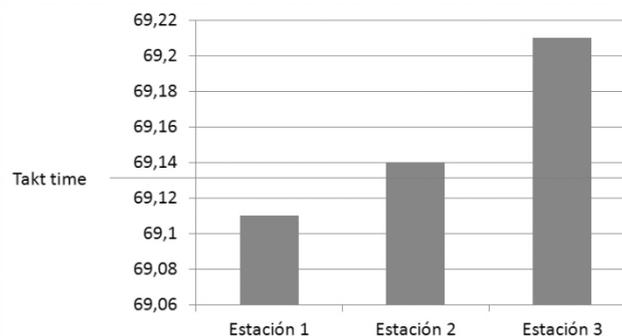


Figura 4.6. Grafica del balanceo de operadores. Estado actual.

- *Nota: la grafica OBC se realizo con los tiempos promedio obtenidos mediante el análisis estadístico de la calidad.*

### 6.2.1.3 Layout de la planta.

Como el numero de estaciones de trabajo se ha modificado se tendrá crear otra celda de manufactura, para que está modificación sea lo más eficiente posible se tiene que restablecer un nuevo Layout en la celda.

Para establecer la cantidad de estaciones de trabajo se ha decidido utilizar un método empírico, donde el trabajo de cada estación se centre en una de las partes

fundamentales del robot (encontradas con la experiencia de realizar diversos ensambles), estas son:

- Tronco.
- Brazos.
- Piernas.

Pensando en estas tres estaciones, la forma más útil para realizar esta celda sería de forma de “L” invertida.

En la figura 5.9 se muestra la nueva distribución de la celda de manufactura, como dentro de la celda de manufactura solo abra 2 operarios, estos se encargaran de realizar las operaciones de las 3 estaciones; los recorridos de cada operario se muestra en la tabla 5.1.

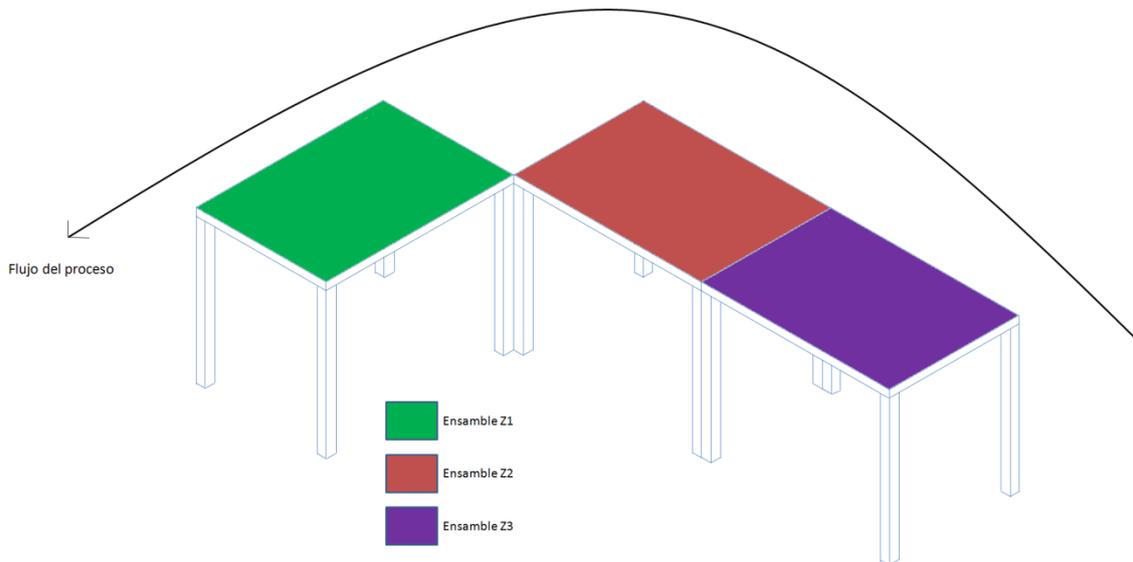


Figura 5.9. Celda de manufactura. Forma “L” invertida.

Tabla 5.1. Recorrido de los operarios dentro de la celda de manufactura.

Operario	Estaciones involucradas en el recorrido		
	1	3	2
A	1	3	2
B	2	1	3

El primer número mostrado en la columna de recorrido, indica la estación con la que inicia el trayecto que debe realizar cada trabajador, los trabajadores cambian a la estación indicada en el siguiente número, al mismo tiempo. Cuando se encuentren en la última posición indicada se reinicia el ciclo.

## 6.2.2. *Diseño y distribución de las estaciones de trabajo.*

### 6.2.2.1. *Factores ergonómicos.*

Los factores ergonómicos son exactamente iguales a los de la parte anterior, el trabajador permanecerá de pie, aunque por la forma de las mesas de trabajo este se tenga que agachar un poquito para realizar las actividades correspondientes. Se continuarán utilizando los dos estantes de madera para acomodar los recipientes de las piezas.

### 6.2.2.1. *Estandarización del trabajo.*

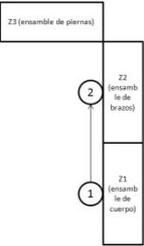
Para establecer las hojas de trabajo primeramente se establece las operaciones que se deben realizar en cada puesto de trabajo, para ello se utiliza la experiencia de las prácticas anteriores. En la tabla 4.4 se establecen las operaciones realizadas, las piezas involucradas en cada estación, además del tiempo promedio que se realiza cada operación.

*\*Nota: Los tiempos mostrados en la columna de tiempo por operación en segundos, son los tiempos promedio obtenidos mediante el análisis estadístico de la calidad.*

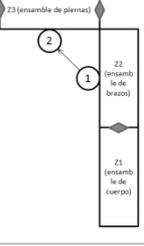
**Tabla 4.4. Distribución de piezas y tiempo requerido para realizar el ensamble.**

<b>Operación</b>	<b>Piezas involucradas</b>	<b>Tiempo de operación en segundos</b>
Z1	A0,C0,C1,E0,H0,P0,S0 y W0	69.09
Z2	C2,J0,J1,L0,M0,N0, RB y X0	69.15
Z3	B0,C2,F0,J0,M0,T0 e Y0	69.21
<b>Total</b>		207.45s

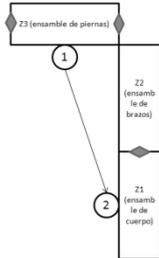
Siguiendo el formato mostrado en la figura 4.6, se realiza la elaboración de la hoja de trabajo estandarizado para cada una de las estaciones.

Análisis de las operaciones	Fecha de inspección	3 de enero del 2013			
	proceso	Z1 (ensamble de cuerpo)			
	Piezas involucradas	AO	2		
		CO	6		
		C1	1		
		EO	1		
		HO	1		
		PO	1		
SO		1			
WO	1				
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time	
			0	69.13	
					
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los círculos enumerados muestran las posiciones que debe tomar en cada ensamble.</li> <li>El operario deberá realizar dos ensambles antes de cambiar de estación de trabajo.</li> <li>Al termino del ensamble el operario se moverá a la posición 2.</li> <li>La inspección se realiza al termino de cada ensamble.</li> <li>En caso de existir un falla con el ensamble que se va enviar o el ensamble recibido, informar inmediatamente a la persona a cargo y dar solución al problema.</li> <li>No existen ensamble en proceso.</li> <li>Colocar sobre la mesa de trabajo la pieza EO, y ahí mismo ensamblar las piezas CO, C1 y HO.</li> <li>Levantar el ensamble resultante con la mano izquierda; con la mano derecha tomar la pieza PO, y unirlos, después presionar con ambas manos hasta oír un "clic".</li> <li>Mientras se sostiene el ensamble con la mano izquierda, realizar las operaciones con la mano derecha.</li> <li>Para el ensamblado de las piezas restantes, se debe girar la muñeca de la para posicionar el ensamble y colocar cada pieza.</li> <li>Ensamblar al ultimo las piezas AO.</li> <li>Colocar el ensamble con la mano izquierda en la siguiente estación.</li> </ul>				

**Figura 4.10. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 1.**

Análisis de las operaciones	Fecha de inspección	3 de enero del 2013			
	proceso	Z2 (ensamble de brazos)			
	Piezas involucradas	C2	2		
		JO	3		
		J1	1		
		LO	2		
		MO	6		
		NO	1		
RB		1			
XO	1				
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time	
			1	69.13	
					
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los círculos enumerados muestran las posiciones que debe tomar en cada ensamble.</li> <li>al comenzar la jornada laboral el trabajador ubicado en la segunda estación de trabajo, no realizara ningún tipo de trabajo hasta que el operador de la estación 1, termine su primer ensamble y lo coloque sobre la mesa de la estación.</li> <li>El operario deberá realizar dos ensambles antes de cambiar de estación de trabajo.</li> <li>Al termino del ensamble el operario se moverá a la posición 2.</li> <li>La inspección se realiza al termino de cada ensamble.</li> <li>En caso de existir un falla con el ensamble que se va enviar o el ensamble recibido, informar inmediatamente a la persona a cargo y dar solución al problema.</li> <li>Solo se permite tener un ensamble en el WIP.</li> <li>Realizar el ensamble del brazo izquierdo (el brazo mas largo) primero, dejando este ensamble en la mano izquierda. Al termina tomar el ensamble Z1 con la mano derecha y realizar la unión de los ensambles.</li> <li>Colocar la pieza resultante con la mano izquierda en la mesa de trabajo.</li> <li>Realizar el ensamble del brazo derecho (el brazo mas corto), dejando el ensamble resultante en la mano derecha, para poder tomar el ensamble Z1 de la mesa de trabajo con la mano izquierda, realizar el ensamblado de estas piezas; se tiene que dejar el ensamble resultante en la mano izquierda.</li> <li>Colocar el ensamble con la mano izquierda en la siguiente estación.</li> </ul>				

**Figura 4.10. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 2.**

<b>Análisis de las operaciones</b>	Fecha de inspección		3 de enero del 2013		
	proceso		Z3 (ensamble de piernas)		
	Piezas involucradas		BO	1	
			C2	2	
			FO	2	
			JO	4	
			MO	4	
YO			1		
Inspección de calidad	Equipo de seguridad	Inventario en proceso (WIP)	Numero de piezas en WIP	Takt time	
◆	+	▲	1	69.13	
					
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los círculos enumerados muestran las posiciones que debe tomar en cada ensamble.</li> <li>• El operario deberá realizar dos ensambles antes de cambiar de estación de trabajo.</li> <li>• Al término del ensamble el operario se moverá a la posición 2.</li> <li>• La inspección se realiza al término de cada ensamble.</li> <li>• En caso de existir un falla con el ensamble que se va enviar o el ensamble recibido, informar inmediatamente a la persona a cargo y dar solución al problema.</li> <li>• Solo se permite tener un ensamble en el WIP.</li> <li>• Realizar el ensamble de una pierna, dejando este ensamble en la mano izquierda. Al termina tomar el ensamble Z2 con la mano derecha y realizar la unión de los ensambles.</li> <li>• Colocar la pieza resultante con la mano izquierda en la mesa de trabajo.</li> <li>• Realizar el ensamble de la otra pierna, dejando el ensamble en la mano derecha; después tomar el ensamble Z2 de la mesa de trabajo con la mano izquierda, realizar el ensablado de estas piezas; se tiene que dejar el ensamble resultante en la mano izquierda.</li> <li>• Colocar el ensamble con la mano izquierda en la siguiente estación.</li> </ul>				

**Figura 4.10. Hoja de trabajo estandarizado para la estación 3.**

### 6.2.3. Implementación y análisis de los proyectos kaizen.

En esta sección se concentrara en el calcular los siguientes aspectos:

- Control estadístico de la calidad.
- Diagrama de Gantt.
- Costos de producción.

Con el fin de observar si los proyectos kaizen han funcionado.

#### 6.2.3.1. Análisis estadístico de la calidad.

Se realizó este estudio para saber si las estaciones de trabajo están bajo control y funcionan bajo los siguientes estándares de calidad:

- El rango óptimo es de 1.5 segundos.
- El número de muestras a estudiar serán de 16.
- El tamaño de cada muestra será de 5 mediciones cada una.
- Se utilizara un nivel de confianza (z) igual a 3 o del 99.7%.
- El tiempo estándar para realizar cada operación es de 69.13 segundos.

Se calculan los coeficientes según se enlistan en la tabla 3.1. En este caso al tener una muestra de tamaño 5 los coeficientes a utilizar serán:

A<sub>2</sub>: 0.58

D<sub>3</sub>: 0

D<sub>4</sub>: 2.11

Limites de control para la carta  $\bar{X}$

Limite de control superior (LCS):  $69.13 + 0.58(1.5) = 70.00$

Limite de control inferior (LCI):  $69.13 - 0.58(1.5) = 68.26$

Límites de control para el rango (R).

Límite de control superior (LCS):  $2.11(1.5) = 3.165$

Límite de control inferior (LCI):  $0(1) = 0$

Una vez que se establecieron los límites, se realiza el análisis de las estaciones de trabajo. Los análisis de las estaciones de trabajo se presentan a continuación.

Estación 1.

En la tabla 5.2 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

Tabla 5.2. Muestreo de tiempos de la estación 1.

Muestreo estación 1							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio	Rango
						$\bar{X}$	R
1	69.24	69.23	68.96	69.44	68.88	69.15	0.56
2	69.32	69.26	68.82	69.13	68.96	69.10	0.50
3	68.95	69.31	69.11	69.19	68.94	69.10	0.37
4	69.26	69.33	69.12	69.16	68.95	69.16	0.38
5	69.54	69.23	69.13	69.14	69.14	69.24	0.41
6	68.46	69.35	69.12	69.19	68.61	68.95	0.89
7	69.54	69.22	68.93	69.01	68.65	69.07	0.89
8	68.99	69.51	69.21	68.54	68.73	69.00	0.97
9	68.91	68.96	69.41	69.24	68.64	69.03	0.77
10	69.62	69.52	69.32	68.91	68.65	69.20	0.97
11	69.53	68.86	69.53	68.62	68.73	69.05	0.91
12	69.52	69.26	69.43	68.96	68.94	69.22	0.58
13	69.54	69.14	69.23	68.96	68.62	69.10	0.92
14	69.64	68.82	69.03	68.96	68.72	69.03	0.92
15	69.32	69.24	68.87	68.97	68.78	69.04	0.54
16	69.21	69.12	68.75	68.95	68.89	68.98	0.46
						Promedio de promedios	Promedio de los rangos
						$\bar{\bar{X}} = 69.089$	$\bar{R} = 0.690$

En la figura 5.2 se muestra las cartas de control de la estación 1.

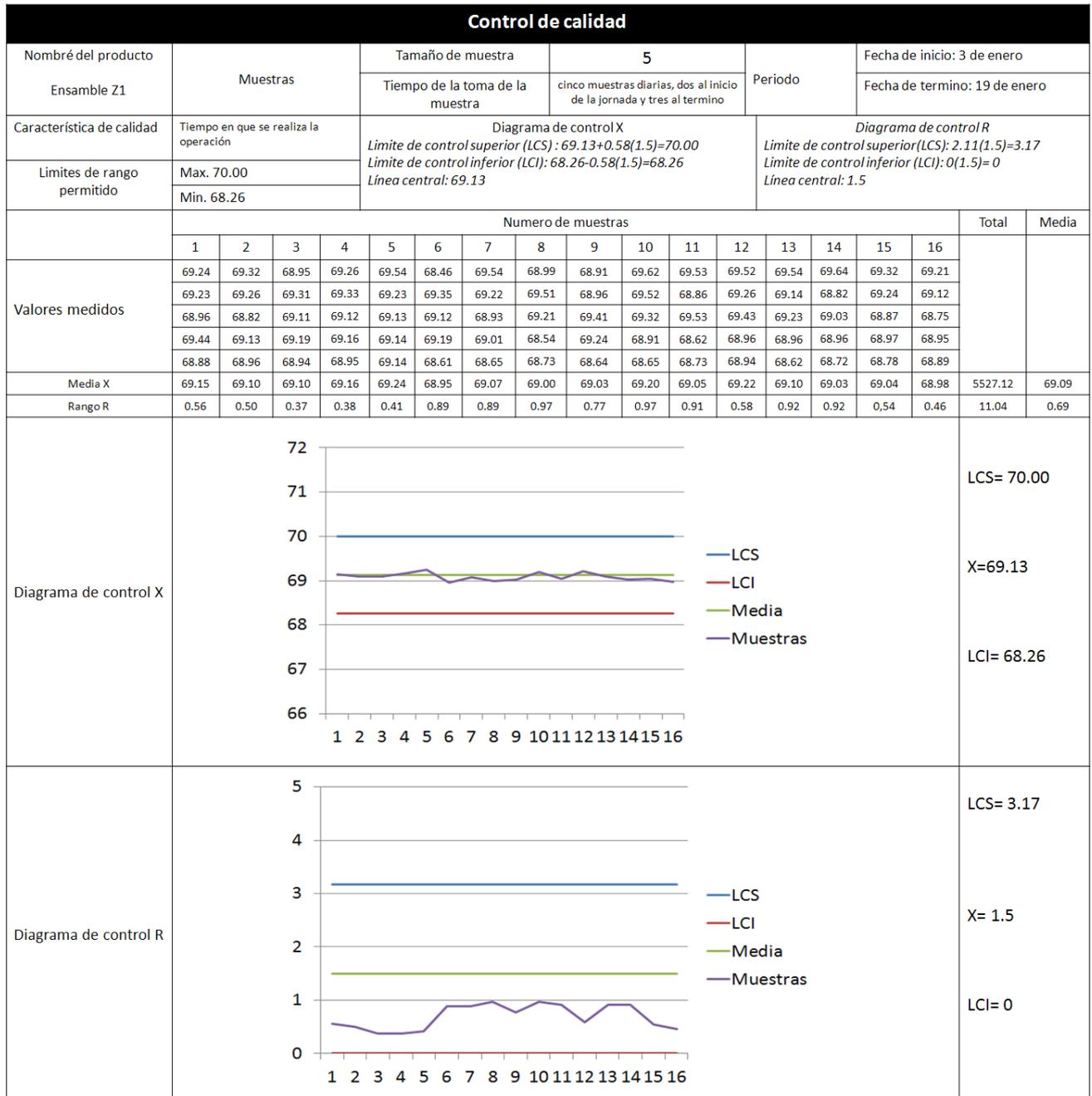


Figura 5.2. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 1.

En el gráfico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran dentro de los límites de control, y estos presentan un comportamiento estable.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen una variación estable, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma un poco más rápido de lo que estaba previsto.

En la tabla 5.3 se muestra los errores del ensamble de la estación 1, y como esta no presenta errores no se realiza el diagrama P.

**Tabla 5.3. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P												
Nombre de la parte	Ensamble Z1		Tamaño de la muestra							5		
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo									Observaciones
			Mal ensamble de las piezas									
			A0	C0	C1	E0	H0	P0	S0	W0		
1	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
4	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
5	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
6	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
7	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
8	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
9	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
10	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
11	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
13	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
14	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
15	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
16	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
TOTALES	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad, esto se logra mediante las ecuaciones 3.11, 3.12 y 1.9.

$$\sigma_1 = 0.28$$

$$C_{pk} = \frac{70.00 - 69.13}{3(0.28)} = 1.04$$

$$C_p = \frac{70.00 - 68.26}{6(0.28)} = 1.04$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra en el margen de porcentaje aceptable es de 0.270%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 1 es satisfactorio.

#### Estación 2.

En la tabla 5.4 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 5.4. Muestreo de tiempos de la estación 2.**

Muestreo estación 2							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	68.93	69.32	69.12	69.21	69.11	69.14	0.39
2	68.88	68.89	69.41	68.97	69.13	69.06	0.53
3	69.22	69.65	69.44	68.97	69.03	69.26	0.68
4	69.27	69.14	68.37	68.89	69.04	68.94	0.30
5	69.21	68.54	68.82	69.12	69.15	68.97	0.67
6	69.14	69.38	68.94	69.35	68.99	69.16	0.44
7	68.93	69.29	68.72	69.23	68.93	69.02	0.57
8	68.92	69.31	68.94	68.71	69.22	69.02	0.60
9	68.83	69.36	69.72	68.98	69.11	69.20	0.89
10	68.81	69.43	69.89	68.65	69.13	68.18	1.24
11	68.72	69.25	69.54	69.45	68.99	69.19	0.82
12	68.82	69.22	69.82	69.51	68.97	69.27	1.00
13	68.67	69.54	68.98	69.62	68.98	69.16	0.95
14	68.97	69.35	69.51	69.43	69.11	69.27	0.54
15	69.23	68.54	69.41	69.39	69.01	69.12	0.87
16	69.33	69.19	69.54	69.64	69.29	69.40	0.45
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 69.147$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 0.683$

En la figura 5.3 se muestra las cartas de control de la estación 2.

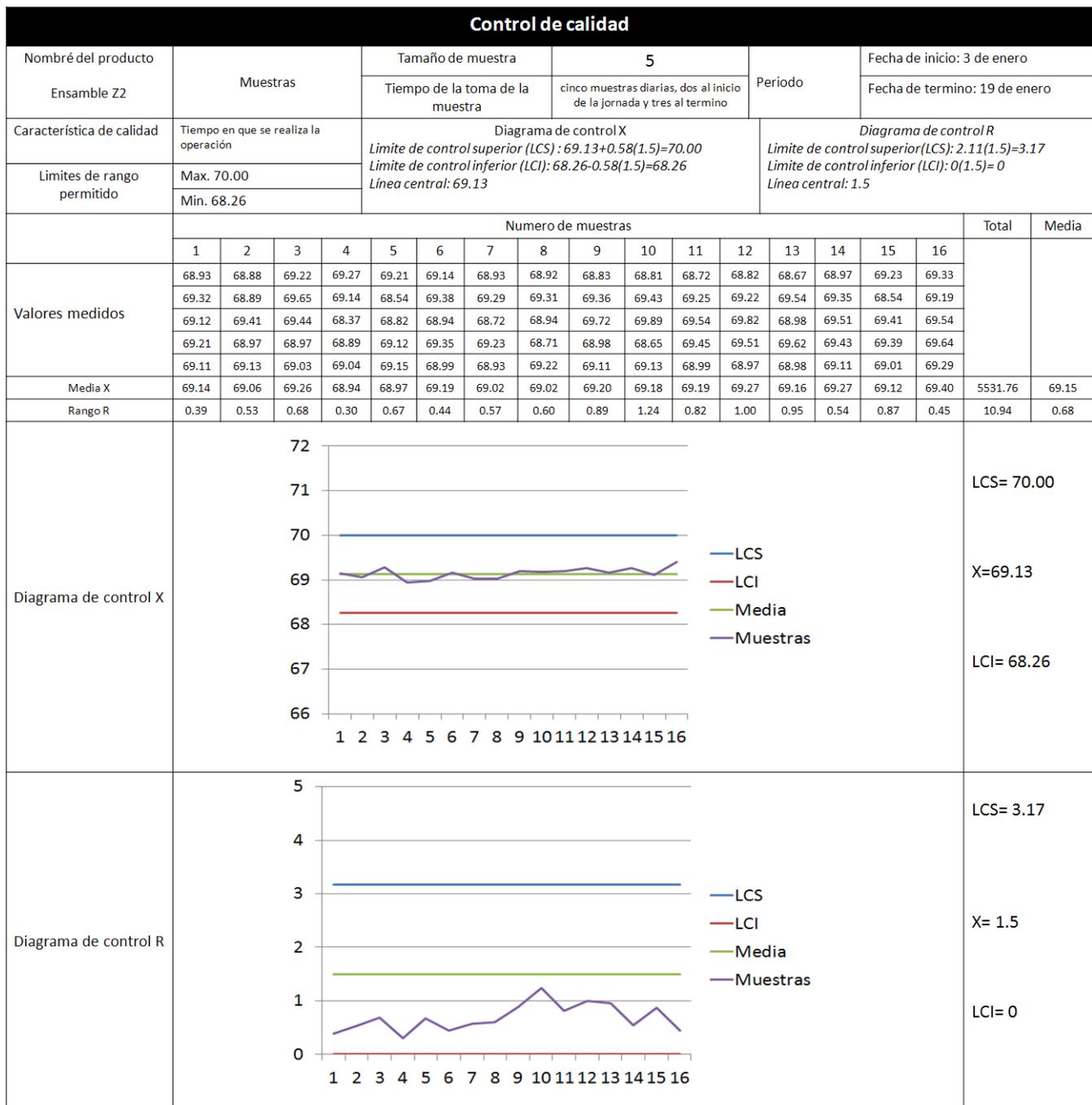


Figura 5.3. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 2.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran dentro de los límites de control, y estos presentan un comportamiento estable.

En el gráfico R se observa que los valores del rango tienen una variación estable aunque presenta algunas elevaciones, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más homogénea de lo que estaba previsto.

En la tabla 5.5 se muestra los errores del ensamble de la estación 2.

**Tabla 5.5. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P											
Nombre de la parte	Ensamble Z2	Tamaño de la muestra	5								
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo								Observaciones
			Mal ensamble de las piezas								
			C2	J0	J1	L0	M0	N0	RB	X0	
1	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTALES	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	

Durante las pruebas de ensamblado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad.

$$\sigma_2 = 0.30$$

$$C_{pk} = \frac{70.00 - 69.13}{3(0.30)} = 0.97$$

$$C_p = \frac{70.00 - 68.26}{6(0.30)} = 0.97$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas es de aproximadamente de 0.270%.

Aunque los índices sean menores a 1, se puede concluir que la producción en la estación es satisfactoria.

*Estación 3.*

En la tabla 5.6 se presenta las muestras de tiempos de ensamble.

**Tabla 5.6. Muestreo de tiempos de la estación 3.**

Muestreo estación 3							
Numero de muestra	Valores medidos en segundos					Promedio $\bar{X}$	Rango R
1	69.56	68.81	69.42	69.39	69.43	69.32	0.75
2	69.43	69.34	69.22	69.41	69.23	69.33	0.21
3	69.31	69.42	69.04	69.47	69.26	69.30	0.43
4	69.21	68.89	69.25	69.34	68.99	69.14	0.45
5	69.15	69.34	69.21	69.13	68.89	69.14	0.45
6	68.99	69.22	69.28	69.25	69.25	69.20	0.30
7	69.24	69.12	69.26	69.26	69.45	69.27	0.33
8	69.33	69.39	69.21	68.93	69.31	69.23	0.46
9	69.42	69.31	69.32	68.92	69.33	69.26	0.50
10	69.21	69.34	69.38	68.89	68.88	69.14	0.50
11	69.25	68.93	69.29	69.32	69.35	69.23	0.42
12	69.19	68.93	69.31	69.41	69.31	69.23	0.48
13	69.14	69.09	69.24	69.28	68.89	69.13	0.39
14	69.34	69.11	69.64	69.31	69.26	69.33	0.53
15	68.87	69.31	68.89	68.86	69.51	69.09	0.65
16	68.91	69.23	68.97	68.98	69.41	69.10	0.50
						Promedio de promedios $\bar{\bar{X}} = 69.214$	Promedio de los rangos $\bar{R} = 0.459$

En la figura 5.4 se muestra las cartas de control de la estación 3.

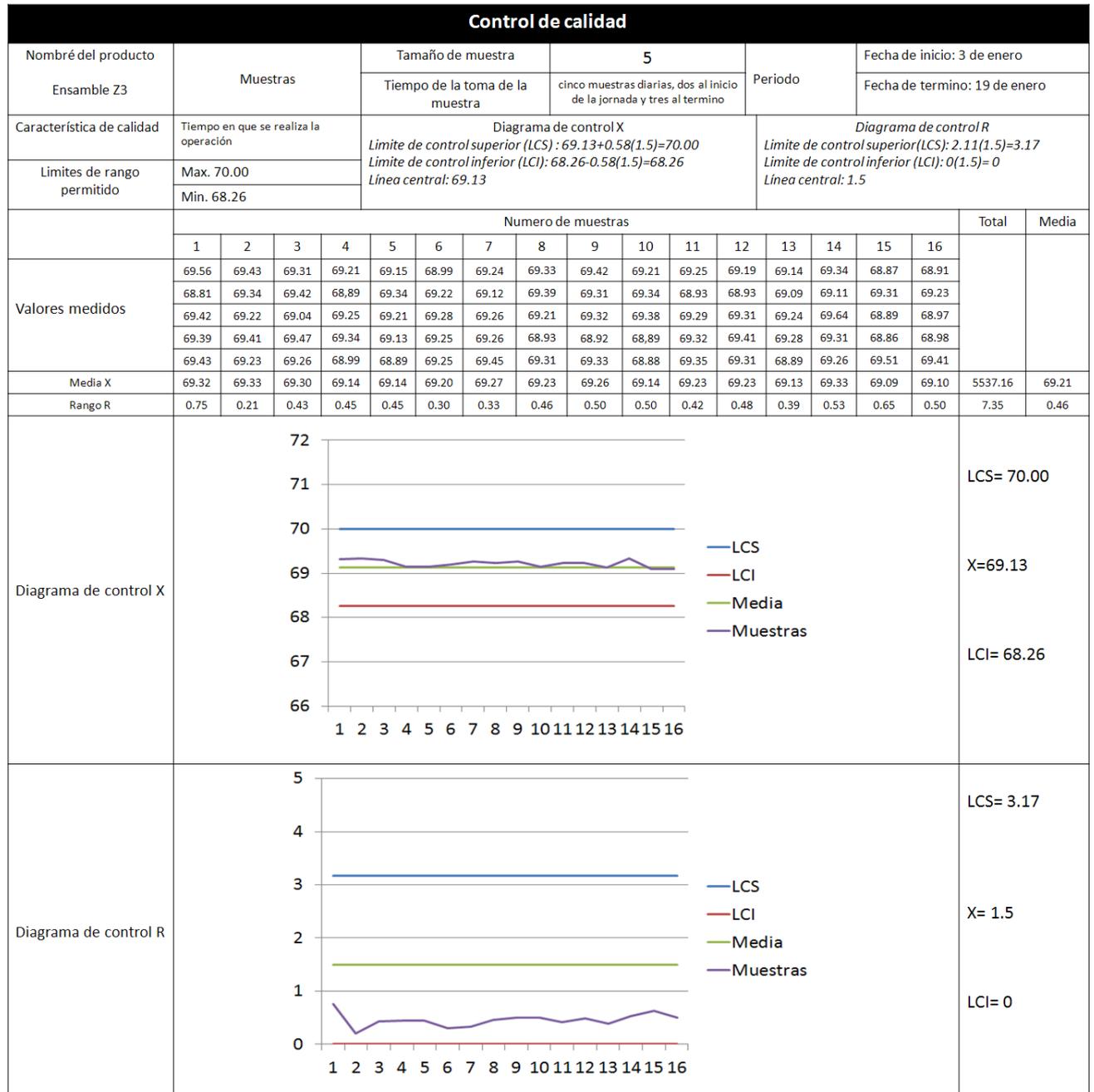


Figura 5.4. Cartas de control  $\bar{X}$  y R de la estación 3.

En el grafico  $\bar{X}$  se observa que los datos se encuentran dentro de los límites de control, y estos presentan un comportamiento estable.

En el grafico R se observa que los valores del rango tienen poca variación, pero todos los datos se encuentran por debajo del valor promedio, lo que indica que las piezas salgan de la estación de forma más rápida de lo esperado, pero estas salen a un ritmo demasiado variable, siendo que las piezas salgan de forma intermitente.

En la tabla 5.7 se muestra los errores del ensamble de la estación 3.

**Tabla 5.7. Hoja de datos para la carta de control P.**

Hoja de datos P										
Nombre de la parte	Ensamble Z3	Tamaño de la muestra	5							
Numero de muestra	Numero de defectos	Fracción defectiva	Razón de rechazo							Observaciones
			Mal ensamble de las piezas							
			B0	C2	FO	JO	MO	TO	YO	
1	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
TOTALES	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	

Durante las pruebas de ensablado esta estación de trabajo no cometió ningún error, por lo cual no se realiza la carta de control P.

Una vez que se tienen las cartas de control  $\bar{X}$ , R y P, se calculan los índices de capacidad.

$$\sigma_3 = 0.19$$

$$C_{pk} = \frac{70.00 - 69.13}{3(0.19)} = 1.53$$

$$C_p = \frac{70.00 - 68.26}{6(0.19)} = 1.53$$

Según los valores mostrados en la tabla 3.2, el porcentaje que se encuentra fuera de las tolerancias permitidas solo es de 0.0007%.

Con estos resultados se concluye que el proceso que se lleva a cabo en la estación 3 es satisfactorio.

### ***6.2.3.2. Análisis del costo unitario de producción.***

Este análisis se realiza para saber si los costos de producción se lograron disminuir con las mejoras aplicadas.

Para el cálculo del costo unitario de producción se toman en cuenta los siguientes pasivos.

- Costos de materia prima
- Costos de mano de obra.
- Gastos administrativos.

Recordando que este análisis se realizará con las mismas condiciones que el realizado en la práctica 3.

- Costos de materia prima (CDP).

Este costo se obtuvo durante la práctica 3, presentado en la tabla 3.15: Costo de la materia prima es de \$11470.20 mensuales.

- Costos de mano de obra (CMO).

Partiendo del conocimiento que se conservan el salario mensual obtenido en la práctica 3 (\$3900.00), se calcula los costos de mano de obra:

Teniendo en cuenta que en la línea de producción hay 2 operarios, el costo total de mano de obra es de: \$7800.00

- Costos administrativos (CAD).

Este costo se obtuvo durante la práctica 3, presentado en la tabla 3.16: Costos administrativos es de \$342920.50 mensuales.

Con la información anterior y las ecuaciones 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 se calculan los costos de producción la rentabilidad del producto:

Utilizando las ecuaciones anteriores nos queda:

Costo de producción:

$$CPD = 11470.20 + 7800.00 + 34292.50$$

$$CPD = \$53562.70$$

Costo unitario (CU):

$$CU = \frac{53562.70}{24165} = \$2.21$$

Precio de venta (PV):

Si se desea tener un margen de utilidad del 30%, el precio de venta ofertado será de:

$$PV = \frac{2.21}{1-(0.30)}$$

$$PV = \$3.15 \text{ por unidad}$$

Para conocer si este sistema rentable o no, se calcula la cantidad de robots que se producen en un mes y se multiplica por el precio de venta, a este resultado se le resta los gastos cálculos y se obtiene las ganancias mensuales promedio. Para el cálculo de esta información se hará uso de la ecuación 1.10 y la información proporcionada por la tabla 4. 4.

$$Pd = \frac{28800 - 207.45}{69.13} = 413.61 \approx 413 \text{ piezas producidas diariamente}$$

$$\text{ingresos mensuales} = (413)(3.15)(25) = 32523.75$$

Si restamos a los ingresos mensuales los costos de producción se obtendrá las ganancias mensuales:

$$32523 - 53562.7 = -21038.95$$

Se puede concluir que la celda de manufactura no es un negocio rentable ya que los ingresos son más pequeños que los egresos.

*\*Este análisis se basa al tener solo una celda de manufactura.*

### 6.2.3.3. Diagrama de Gantt.

Tomando en consideración los resultados obtenidos, se realiza el diagrama de Gantt, mostrado en la figura 4.25, en este diagrama las barras de color azul muestran el tiempo ideal que se necesita para producir 24165 unidades, mientras que las barras de color rojo muestran el tiempo de seguridad del 5% del tiempo de producción, para producir los posibles faltantes o reponer el tiempo perdido por retrasos, accidentes o cualquier imprevisto posible.

Se obtiene la cantidad de días necesarios cubrir esta demanda, dividiendo la demanda mensual entre la cantidad de piezas producidas diariamente.

$$\frac{\text{demanda}}{\text{piezas producidas en un día}} = \frac{24165}{413} = 58.51 \text{ días} \approx 59 \text{ días}$$



Figura 4.25. Diagrama de Gantt

*\*Este análisis se basa al tener solo una celda de manufactura.*

### 6.2.4. Resultados.

- Todas las estaciones presentaron un índice de capacidad alrededor de 1; esto se debió principalmente a que los estudiantes conocían los ensambles, y realizaban estos con rapidez.
- Durante el análisis estadístico, se encontraron comportamientos sumamente estables en todos los sentidos.
- En los diagramas “P” no se registro ningún error de ensamblado, pero como se menciona en el punto anterior los errores de recorrido afectaron el rendimiento de la celda, aunque durante las pruebas no mostraron errores el proceso no esta exento de errores de ensamblado.
- El tiempo promedio calculado de las estaciones es de 69.13 segundos pero al termino de los estudios el tiempo promedio del sistema es de 69.15 segundo, tan solo 0.02 segundos por encima del esperado. Lo que significa que el tiempo ciclo de amas celdas es prácticamente el mismo.
- Se redujo el área utilizada para el área de manufactura de 8.80 metros cuadrados (sin contar los márgenes de seguridad) a 6.41 metros cuadrados.
- El diagrama de Gantt muestra que se necesita una mayor cantidad de tiempo para satisfacer la demanda.
- Esta celda de trabajo produce muy por debajo, en comparación con la construida con anterioridad; ya que si en ambas utilizamos el espacio disponible que es de 33.96 metros cuadrados, se pueden crear 3 celdas de trabajo con las condiciones antes de las modificaciones y 5 con la actual; si multiplicamos la cantidad de celdas de manufactura por las unidades producidas, la celda antes de las modificaciones es mas eficiente.
- Si se coparan las celdas de manufactura económicamente hablando, se tiene que la celda antes de modificaciones produce 2880 unidades que se venden a \$3.4, por unidad en un periodo de 25 días, se tiene una ganancia de \$244800, si a esto le restamos los gastos que se tienen, se obtiene una ganancia neta de 187337.3.

Mientras que con la celda con las modificaciones realizadas se tiene, que las unidades producidas diariamente son de 2065 unidades, que se pondrían a venta a \$3.15 cada una, si se venden todas por el mismo periodo de tiempo que la celda anterior, se tiene una ganancia de \$162618.75, si a esto se le resta los gastos, la ganancia neta es de 109056.05; un 41.79% menos que lo generado por la celda anterior.

- Por todo lo explicado con anterioridad se concluye que los proyectos kaizen establecidos para mejorar la celda de manufactura, fueron un total fracaso.

## ***7. Cuestionario final.***

***¿Explique con sus propias palabras que diferencia existió entre la línea de ensamble y la celda de manufactura?***

Ambas son excelentes formas de producir de manera masiva uno o varios artículos los que cambia, son las responsabilidades que se les asigna a los operadores, es decir, que mientras que en la línea de producción se requiere una mano de obre experta en un solo ámbito o técnica, en la celda de manufactura se requieren mano de obra que sean multi-habilidades. En cuestión a los recursos necesarios para establecer cada sistema de producción; la línea de ensamble requiere una menor inversión para implantarse, pero en comparación con la celda tarda mas tiempo en recuperar la inversión; mientras que la celda de manufactura requiera una mayos inversión para poder ser funcional, pero el tiempo en que recupera la inversión en mucho mas corta en comparación a la línea de manufactura. El en espacio requerido para cada sistema, la línea de ensamble requiere un gran espacio, mientras que la celda requiere un menor espacio. En conclusión si se requiere establecer uno de estos métodos, se tiene que analizar primero el volumen de demanda que se valla a cubrir, el espacio disponible y principalmente el capital con que se cuenta.

***¿Se ha conseguido cubrir la demanda pronosticada? ¿Por que si? ó ¿Por qué no?***

Si se trabajara con una solo celda de manufactura, no se lograría cubrir la demanda todavía, pero si utilizamos todo el espacio disponible se podrían colocar 3 celdas de manufactura y con ello, no solo cabrió la demanda, si no también se produciría en mayor cantidad.

***¿Que proyectos kaizen propondría para mejorar el nuevo sistema de producción?***

En cuestión a las ultimas mejoras aplicadas, fueron un rotundo fracaso, aunque cabe mencionar que la ideología de reducir el numero de estaciones de trabajo no es tan mala, para ello se tendría que realizar un estudio de tiempos y movimientos, para establecer si se puede o no reducir las estaciones; por otro lado se podría aplicar un estudio de micro movimientos y un mejor estudio de movimientos, para reducir el tiempo que se realiza cada operación lo que se traduciría a un incremento el las piezas producidas.

*¿Se logro reducir el los costos de producción?*

Si se lograron reducir tanto los gastos de producción como las ganancias registradas mensualmente.

## ***8. Conclusiones de la práctica.***

El sistema de producción de la celda de manufactura, es el sistema de producción más utilizado por las empresas transnacionales más importantes, debido a que este sistema reduce dramáticamente el número de personal necesario, el espacio requerido, manteniendo la calidad y la cantidad de unidades producidas. Y cuando se instalan más celdas de trabajo en el espacio utilizado por el antiguo sistema, se podría incrementar la producción considerablemente, manteniendo el mismo personal.

Este sistema tiene una gran desventaja si no se cuenta con el capital necesario para invertir en su implementación, ya que no solo se necesita modificar el Layout de la planta, sino también la forma en que se mueva la información a través de toda la planta (desde los trabajadores hasta los altos mandos), la ideología de como producir y la forma en que se realiza el mantenimiento de los equipos utilizados.

## *Conclusiones Generales.*

Durante el desarrollo de las prácticas se aplicaron los métodos y herramientas utilizados en los dos sistemas de producción más utilizados (línea de ensamble y celda de manufactura) en el ámbito profesional, con gran fidelidad. Además de fomentar el trabajo en equipo entre el grupo.

Con esto se logró que los estudiantes supieran adaptarse a un sistema de producción ya establecido, analizar este sistema, poder documentar los errores y observar las posibles áreas de oportunidad, para analizar en equipo las posibles soluciones y la mejor manera de implementar estas en la línea de ensamble, controlar y analizar estas mejoras para evaluarlas y compararlas con el sistema de producción anterior, y así aplicar los proyectos de mejora continua. Además de poder transformar un sistema de producción a otro manteniendo las mismas características de producción del sistema anterior, y observar las ventajas y desventajas que tiene producir con un sistema o el otro.



## *Análisis de Resultados.*

Durante la prueba practica de este manual, realizado durante el semestre 2014-II, con el apoyo de los grupos 2901-A y 2901-B. Se ha comprobado que las técnicas ilustradas y contenidas en este manual, simulan fielmente las técnicas y herramientas utilizadas comúnmente en el ámbito laboral. Que va desde el pedido y recepción de materia prima hasta la entrega del producto final al mercado final.

También se simularon errores más comunes dentro de una línea de ensamble, lo cual contribuyo a que los estudiantes aplicaran las diferentes técnicas en solución de problemas (explicados los más comunes en este manual).

## *Bibliografía.*

- 1) Sistemas de producción. Planeación, análisis y control.  
3ª Edición.  
James L. Riggs  
Editorial Continental.
- 2) Análisis de la producción y las operaciones.  
1º Edición.  
Steven Nahmias  
Editorial Continental.
- 3) Manual del ingeniero industrial vol. I.  
Graviel Sabendy  
Editorial Limusa.
- 4) Producción.  
Conceptos, análisis y control  
Richard J. Hopeman  
Editorial continental.
- 5) Administración de producción y operaciones. Manufactura y servicios.  
8ª Edición.  
Richard B. Chase; Nicholas J. Aquilano; F. Robert Jacobs  
Editorial McGRAW-HILL.
- 6) Manual de lean manufacturig. Guía básica  
2ª Edición.  
Alberto Villaseñor Contreras; Edber Galindo Cota  
Editorial Limusa.
- 7) Administración de la producción e inventarios.  
2ª Edición.  
Donald W. Fogarty; John H. Blackstone Jr.; Thomas R. Hoffmann  
Editorial Continental.
- 8) La producción y su estructura.  
Antonio Arjona Ciria  
Ediciones Deusto.
- 9) Control estadístico de la calidad.  
3ª Edición.  
Douglas C. Motgomery  
Editorial Limusa
- 10) Contabilidad de costos.  
6ª Edición.  
Ortega Pérez de León Armando.  
Editorial limusa.
- 11) Conceptos y reglas de Lean Manufacturing.  
2ª Edición.  
Alberto Villaseñor Contreras; Edber Galindo Cota.  
Editorial Limusa.

- 12) Introducción al Estudio del Trabajo.  
4ª Edición.  
George Kanawaty.  
Editorial Limusa
- 13) Control de la Producción. Sistemas y Decisiones.  
James H. Greene.  
Editorial Diana.
- 14) Administración de la Producción y las operaciones. Conceptos, Modelos y Comportamiento Humano.  
Everett E. Adam Jr.; Ronald J. Ebert.  
Editorial Limusa.
- 15) Análisis y planeación de la calidad. Del Desarrollo del producto al Aso.  
3ª Edición.  
J. M. Juran; Frank M. Gryna.  
Editorial McGrawHill.
- 16) Manual de Producción.  
2ª Edición.  
Carlos Bello Pérez.  
ECOEdiciones.
- 17) Lean Manufacturing paso a paso  
Luis Socconini.  
Editorial Norma.
- .