



**DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA DE NUEVA PLANTA PARA LA  
LINEA DE PRODUCCIÓN DE LOS MODELOS BULLER Y LINNER  
12 EN DINA CAMIONES.**

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN MANUFACTURA AVANZADA**

PRESENTA

**ING. ANTONIO AGUILAR JAEN**

CIUDAD SAHAGÚN, HIDALGO, OCTUBRE DE 2017.





**ING. ANTONIO AGUILAR JAEN**

**DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA DE NUEVA PLANTA PARA LA  
LINEA DE PRODUCCIÓN DE LOS MODELOS BULLER Y LINNER  
12 EN DINA CAMIONES.**

**ASESOR ACADÉMICO**

M. en C. ISAÍAS SIMÓN MARMOLEJO

**ASESOR EN PLANTA**

ING. ROBERTO MONROY MENESES

CIUDAD SAHAGÚN, HIDALGO, OCTUBRE DE 2017.



## RESUMEN

La industria automotriz constantemente demanda cambios en los procesos productivos, ya sea para ensamblar un nuevo producto o para cambiar y/o ampliar sus líneas de producción. A este respecto, Dina Camiones S.A. de C.V. introduce al mercado dos nuevos modelos (Buller y Linner 12), surgiendo la necesidad de ampliar su capacidad productiva para cumplir con la demanda del mercado de estos modelos. En este trabajo se presenta el proyecto de distribución de planta e infraestructura para esta nueva línea de ensamble, haciendo uso de la metodología Systematic Layout Planning (SLP) así como herramientas de diseño como AutoCAD y Dialux con el objeto de proyectar las instalaciones en 2D y 3D. El desarrollo del proyecto se realizó en una nave con una superficie de 13,600 m<sup>2</sup> destinada para este proyecto siendo el espacio una limitante, así mismo la construcción y diseño de estas instalaciones cumplen con toda la normatividad mexicana vigente (NOM'S) referente a la seguridad en el trabajo y medio ambiente.

El núcleo de la infraestructura es la subestación eléctrica y de acuerdo a la carga instalada resulto ser de 750 kVA. Se proyectó la instalación de un sistema de alumbrado utilizando el software Dialux. Se selecciona y proyecta una cabina de pintura del tipo extracción lateral, por su flexibilidad para un posible cambio del Layout. Se diseña un sistema de grúas del tipo monopuente y apoyada, cumpliendo con la normatividad mexicana y de acuerdo a los estándares de soldadura de American Welding Society (AWS). El sistema de aire comprimido consta de un compresor de 112 kW, distribuido por medio de tubería de aluminio tipo Smart Pipe, a través de un loop ubicado en el perímetro de la nave. Se diseña una cabina de hermetismo donde se asegura que no haya filtraciones de agua en el interior del autobús, generando una presión de 3.0 kg/cm<sup>2</sup> en el sistema, mediante una bomba de 15 kW.

Otro factor importante que se tomó en cuenta fue la flexibilidad, la cual ha ido adquiriendo una mayor importancia pasando a ser un objetivo primordial, siendo esta distribución lo suficientemente flexible para ajustar o reordenar en poco tiempo y a un menor costo el proceso de producción. En este trabajo se presentan las memorias de cálculos de la maquinaria e infraestructura principal, lográndose una línea de ensamble que cumple con las expectativas de seguridad, calidad y productividad.

**Palabras clave:** Productividad, Maquinaria, Procesos, Layout.

# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN .....  | 1  |
| ÍNDICE.....  | 2  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                    | 4  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                                     | 6  |
| AGRADECIMIENTOS .....                                      | 7  |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS .....                                 | 8  |
| GLOSARIO DE ABREVIATURAS .....                             | 10 |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                      | 11 |
| 1.1 ANTECEDENTES .....                                     | 11 |
| 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....                          | 12 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN .....                                    | 13 |
| 1.4 OBJETIVO GENERAL .....                                 | 13 |
| 1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                            | 14 |
| 1.6 HIPOTESIS .....  | 15 |
| 1.7 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.....                          | 15 |
| 2. MARCO TEÓRICO .....                                     | 17 |
| 2.1 ESTADO DEL ARTE .....                                  | 17 |
| 2.1.1 Investigaciones destacadas sobre el tema .....       | 17 |
| 2.1.2 Análisis comparativo de la literatura revisada ..... | 34 |
| 2.2 TÉCNICAS RELACIONADAS .....                            | 35 |
| 2.2.1 Distribución de planta .....                         | 35 |
| 2.2.2 Software CAD-2D y 3D .....                           | 50 |
| 2.2.3 Ingeniería de planta .....                           | 50 |
| 2.2.4 Puntos de seguridad y aspectos ambientales .....     | 51 |
| 2.3 VIABILIDAD COMERCIAL .....                             | 52 |
| 2.4 METODOLOGÍA .....                                      | 55 |
| 2.4.1 Metodología Systematic Layout Planning (SLP) .....   | 55 |
| 2.5 OBSERVACIONES DEL CAPÍTULO .....                       | 65 |

|  |     |
|--|-----|
| 3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACION.....                                       | 67  |
| 3.1 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE.....   | 68  |
| 3.2 REPARACIONES A REALIZAR EN LA NAVE.....                                  | 69  |
| 3.2.1.Reparación de bajadas pluviales.....                                   | 70  |
| 3.2.2.Reparación de techumbre.....   | 71  |
| 3.2.3.Reparación de oficinas y sanitarios.....                               | 72  |
| 3.3 DISEÑO DE FLUJO DE PROCESO DE MANUFACTURA .....                          | 79  |
| 3.3.1.Recopilación de datos .....  | 79  |
| 3.3.2.Análisis de datos recolectados .....                                   | 82  |
| 3.3.3 Layout de distribución de planta.....                                  | 90  |
| 3.4 DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA Y MAQUINARIA .....                             | 94  |
| 3.4.1 Diseño de sistema eléctrico .....                                      | 94  |
| 3.4.2 Diseño del sistema de aire comprimido de la planta.....                | 120 |
| 3.4.3 Diseño de grúas viajeras en área de estructuras y chasis.....          | 127 |
| 3.4.4 Selección de cabina de pintura.....                                    | 134 |
| 3.4.5 Selección de cabina de preparación de pintura.....                     | 139 |
| 3.4.6 Selección de cabina de aplicación de poliuretano y anticorrosivo ..... | 141 |
| 3.4.7 Diseño de cabina de hermetismo .....                                   | 143 |
| 3.4.8 Selección de dinamómetro de pruebas .....                              | 145 |
| 3.5. VIABILIDAD DEL PROYECTO.....  | 148 |
| 3.5.1 Introducción.....  | 148 |
| 3.5.2 Viabilidad técnica .....   | 148 |
| 3.5.3 Viabilidad financiera .....  | 150 |
| 3.5.4 Retorno de inversión .....   | 152 |
| 4. RESULTADOS .....  | 153 |
| CONCLUSIONES.....  | 156 |
| RECOMENDACIONES.....   | 157 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....   | 159 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Áreas para la planeación de instalaciones [16].....                             | 18 |
| Figura 2. Metodología SLP [18]. ....  | 21 |
| Figura 3. Un plan bloque [19].....  | 22 |
| Figura 4. Planta digital en 3D [21]. ....   | 25 |
| Figura 5. Reubicación de maquinaria en un sistema de fábrica digital [21]. ....           | 26 |
| Figura 6. Principales etapas para el Layout en un DFS [21]. ....                          | 26 |
| Figura 7. Arquitectura del sistema del diseño del Layout de instalaciones [23]. ....      | 28 |
| Figura 8 . Ejemplo de distribución por posición fija: construcción de aeronaves [30]..... | 38 |
| Figura 9 . Distribución por proceso [26]. ....  | 39 |
| Figura 10. Distribución por producto [13].....  | 41 |
| Figura 11. Ejemplo de proceso en "U" [30].....  | 43 |
| Figura 12. Distribución por células de tecnologías de grupo [26].....                     | 44 |
| Figura 13. Tipos de distribución de acuerdo a la relación volumen-variedad [27].....      | 46 |
| Figura 14. Flujo en línea [29]. ....  | 46 |
| Figura 15. Flujo en "L" [29]. ....  | 47 |
| Figura 16. Flujo en "U" [29]. ....  | 47 |
| Figura 17. Flujo en "S" [29]. ....  | 47 |
| Figura 18. Tipos de problema de distribución y causas más frecuentes [1]. ....            | 49 |
| Figura 19. Graficas P-Q habituales de cada tipo de distribución de planta [39]. ....      | 58 |
| Figura 20. Tabla relacional de actividades [39].....                                      | 60 |
| Figura 21. Diagrama relacional de actividades (a) [39]. ....                              | 61 |
| Figura 22. Diagrama relacional de recorridos (b) [39].....                                | 62 |
| Figura 23. Diagrama relacional de espacios por cada actividad [39].....                   | 63 |
| Figura 24. Esquema del SLP [39]. ....   | 64 |
| Figura 25. Infraestructura de instalaciones disponible para nueva línea . ....            | 69 |
| Figura 26. Ubicación de drenaje y bajadas pluviales.....                                  | 70 |
| Figura 27. Ubicación de láminas acrílicas en nave.....                                    | 71 |
| Figura 28. Plano actual de oficinas exteriores.....                                       | 72 |
| Figura 29. Plano de remodelación de oficinas exteriores. ....                             | 73 |
| Figura 30. Plano actual de vestidores-sanitarios. ....                                    | 74 |
| Figura 31. Plano de remodelación de vestidores-sanitarios. ....                           | 76 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 32. Plano actual de oficinas y sanitarios interiores. ....                  | 77  |
| Figura 33. Plano de remodelación de oficinas y sanitarios interiores. ....         | 78  |
| Figura 34. Grafica producto-cantidad para determinar el tipo de proceso. ....      | 83  |
| Figura 35. Diagrama de recorrido. ....   | 84  |
| Figura 36. Tabla relacional de actividades. ....                                   | 85  |
| Figura 37. Códigos de identificación de diagramas [1]. ....                        | 86  |
| Figura 38. Diagrama relacional de actividades. ....                                | 87  |
| Figura 39. Diagrama relacional de recorridos. ....                                 | 88  |
| Figura 40. Diagrama relacional de espacios en m <sup>2</sup> . ....                | 89  |
| Figura 41. Distribución de planta propuesta. ....                                  | 91  |
| Figura 42. Diagrama unifilar de acometida y arreglo de subestación eléctrica. .... | 107 |
| Figura 43. Diagrama unifilar de sistema eléctrico de fuerza. ....                  | 109 |
| Figura 44. Plano de sistema eléctrico de fuerza. ....                              | 110 |
| Figura 45. Plano de sistema eléctrico de alumbrado. ....                           | 112 |
| Figura 46. Niveles de iluminación indicadas en luxes, software Dialux. ....        | 113 |
| Figura 47. Representación en 3D, utilizando software Dialux. ....                  | 113 |
| Figura 48. Sistema de fijación, vista frontal. ....                                | 115 |
| Figura 49. Sistema de fijación lateral. ....                                       | 115 |
| Figura 50. Electrodo tipo rehilete, vista isométrica. ....                         | 116 |
| Figura 51. Electrodo tipo rehilete, vista lateral. ....                            | 117 |
| Figura 52. Plano de sistema de tierras físicas. ....                               | 118 |
| Figura 53. Red de aire comprimido. ....  | 121 |
| Figura 54. Identificación de tubería de aire [26]. ....                            | 125 |
| Figura 55. Red de aire comprimido en 3D. ....                                      | 126 |
| Figura 56. Ilustración de viga de carga. ....                                      | 129 |
| Figura 57. Dimensiones de viga. ....   | 130 |
| Figura 58. Grúas viajeras en 3D en el área de estructura. ....                     | 133 |
| Figura 59. Ubicación de la cabina pintura y preparación pintura. ....              | 139 |
| Figura 60. Cabina de hermetismo. ....  | 143 |
| Figura 61. Arreglo de aspersores, vista frontal. ....                              | 145 |
| Figura 62. Vista de planta de cabina de dinamómetro. ....                          | 147 |
| Figura 63. Vista lateral de dinamómetro. ....                                      | 147 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Resumen de metodologías y técnicas utilizadas en el marco teórico. ....  | 34  |
| Tabla 2. Características entre diferentes tipos de proceso [31]. ....   | 45  |
| Tabla 3. Volumen de ventas totales de vehículos automotores por mercado y tipo de<br>vehículo serie anual de 2008 a 2013 [37]. .... | 54  |
| Tabla 4. Volumen de ventas de autobuses foráneos en México, 2008-2015 [38]. ....  | 55  |
| Tabla 5. Para selección de número de servicios por trabajadores en industria [40]. ....   | 75  |
| Tabla 6. Centros de trabajo asignados a línea chasis. ....  | 80  |
| Tabla 7. Centros de trabajo asignados a línea carrocerías. ....   | 80  |
| Tabla 8. Carga instalada en el área de soldadura en 480 V. ....   | 95  |
| Tabla 9. Carga instalada en línea chasis. ....  | 96  |
| Tabla 10. Tableros de alumbrado. ....   | 96  |
| Tabla 11. Tablero “I-line” ....   | 96  |
| Tabla 12. Resumen de cargas en tablero auto soportado A-1 de subestación eléctrica,<br>480 V. ....                                  | 97  |
| Tabla 13. Resumen de cargas en tablero auto soportado B-1 de subestación eléctrica,<br>220 V. ....                                  | 97  |
| Tabla 14. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000<br>V y 60 °C a 90 °C. ....                      | 100 |
| Tabla 15. Consumos de aire por tipo de herramienta. ....  | 122 |
| Tabla 16. Tabla para la selección de la tubería de aire. ....   | 123 |
| Tabla 17. Colores de seguridad para tuberías y su significado [7]. ....   | 125 |
| Tabla 18. Dimensión de bandas de identificación en relación al diámetro de tubería [7]<br>.....                                     | 125 |
| Tabla 19. Dimensiones y propiedades mecánicas de viga seleccionada ....   | 130 |
| Tabla 20. Producción estimada anualmente en el primer año. ....   | 149 |
| Tabla 21. Producción estimada anualmente en el segundo año. ....  | 149 |
| Tabla 22. Producción estimada anualmente en el tercer año. ....   | 149 |
| Tabla 23. Producción estimada anualmente en el cuarto año. ....   | 150 |
| Tabla 24. Producción estimada anualmente en el quinto año. ....   | 150 |
| Tabla 25. Costos de inversión de activos fijos. ....  | 151 |

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, quiero agradecer a DIOS por darme salud y vida para hacer lo que realmente me apasiona, que es el estudio, además de superarme continuamente en el ámbito profesional. También doy gracias a DIOS por darme una hermosa familia a la cual dedico este trabajo.

A mis padres y familia por el esfuerzo, paciencia y amor que me tuvieron para lograr este objetivo, así mismo por el apoyo incondicional y motivación que me otorgaron para impulsarme día con día a continuar con este proyecto. Muchos de mis logros se lo debo a mi familia y este es uno de ellos, también espero contar siempre con su apoyo como hasta ahora para logros futuros.

Un agradecimiento singular se lo debo a mis asesores de tesis por regalarme tiempo de su vida para guiarme y darme sus valiosas observaciones para llevar este trabajo a buen fin. También por su paciencia que me tuvieron, además que sin su apoyo no hubiese sido posible realizar este proyecto.

A CONACYT y CIATEQ por abrirme sus puertas y ser parte de sus instituciones, para cursar la Maestría en Manufactura Avanzada.

Finalmente, a la empresa Dina Camiones por permitirme realizar este proyecto, el cual se desarrolló con éxito en sus instalaciones.

Este es un momento muy importante en mi vida y espero en DIOS que sirva de ejemplo de superación para mi familia y que perdure en el tiempo en las personas que me apoyaron en esta tesis.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

|           |  |
|-----------|--|
| 3D        | Tercera dimension.   |
| ANPACT    | Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones.  |
| ASTM      | American Society for Testing and Materials.  |
| AWS       | American Welding Society.  |
| Axxess-VR | Es un módulo del Software ENVISION desarrollado por Deneb Robotic Inc., es una interface del lenguaje ANSI C y una interface de la Realidad Virtual. |
| BRT       | Bus Rapid Transit.   |
| C.M.A.A.  | Crane Manufacturers Association of America.  |
| CATIA     | Computer Aided Three Dimensional Interactive Application. Es un software de diseño.  |
| CRAFT     | Coordinate Relative Allocation of Facilities Technique.  |
| DFS       | Digital Factory System.  |
| Dialux    | Software de diseño de iluminación, en espacios simples, pisos enteros, edificios y exteriores.   |
| DIN       | Deutsches Institut für Normung.  |
| DINA      | Diésel Nacional.   |
| DSS       | Decisión Support System.   |
| ERP       | Enterprise Resource Planning.  |
| HVLP      | High Volume Low Pressure.  |
| ITM       | Interruptor Termomagnético   |
| MCM       | Mil Circular Mil. Unidad de medida para grandes calibres de conductores eléctricos.  |
| Layout    | Se refiere a la ubicación relativa de las instalaciones una con respecto de la otra, de algún sistema físico.  |
| MES       | Manufacturing Execution System.  |
| Mod! Fact | Software para la optimización de los procesos y la planeación en una planta de producción.   |
| NEMA      | National Electrical Manufacturers Association.   |

|       |  |
|-------|--|
| NFPA  | National Fire Protection Association.          |
| NOM   | Norma Oficial Mexicana.                        |
| OSHA  | Occupational Safety and Health Administration. |
| PERT  | Project Evaluation and Review Techniques.      |
| PVC   | Policloruro de Vinilo.                         |
| ROI   | Return on Investment.                          |
| RV    | Realidad Virtual.                              |
| SCFM  | Standard Cubic Feet Per Minute.                |
| SLP   | Systematic Layout Planning.                    |
| ITM   | Interruptor Termomagnetico.                    |
| VOC'S | Volatile Organic Compunds.                     |

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

|                    |  |
|--------------------|--|
| A=                 | Amperes  |
| bf=                | Ancho de patín   |
| d=                 | Altura de viga (depth)   |
| Ef=                | Tensión entre fases.   |
| En=                | Tensión al neutro.   |
| Fb=                | Esfuerzo de flexión  |
| Fp=                | Factor de potencia.  |
| Fy=                | Esfuerzo a la fluencia   |
| Icc=               | Corriente de corto circuito.   |
| Ie=                | Corriente de excitación.   |
| In=                | Corriente nominal.   |
| Ixx=               | Propiedad elástica en eje X  |
| KVA=               | Potencia del transformador.  |
| kW=                | Carga instalada en kilowatts.  |
| L=                 | Longitud.  |
| m=                 | Metro (unidad de medida lineal)  |
| M <sub>MAX</sub> = | Momento máximo de flexión.   |
| R=                 | Resistencia eléctrica del terreno, en ohm/m.   |
| P=                 | Capacidad de carga de la viga  |
| r=                 | Radio en metros de una placa circular equivalente, cuya área es la misma que la ocupada por la malla real de tierra. |
| S=                 | Sección transversal de un conductor.   |
| Sx=                | Momento estático de media sección respecto a X.  |
| t=                 | Tonelada   |
| T.S.=              | Tensión del suministro.  |
| tf=                | Espesor de patín (thickness flange).   |
| tw=                | Espesor del alma de la viga (thickness web)  |
| V=                 | Voltaje.   |
| Z=                 | Impedancia del transformador.  |

# 1. INTRODUCCIÓN

---

El presente capítulo busca dar al lector una visión generalizada del proyecto de investigación; Se dan antecedentes de la planta de producción, se explica el problema que se tiene respecto al diseño de dos líneas de producción de autobuses, se justifica mediante argumentos suficientes la necesidad del diseño e implementación de dichas líneas de producción. Por otro lado, se plantean objetivos e hipótesis necesarios para alcanzar este fin. Así mismo se indican los beneficios que se obtendrán de este trabajo.

## 1.1 ANTECEDENTES

En el mes de febrero de 1951, Dina Motors en conjunto con el Gobierno Federal y a través de las Secretarías de Hacienda y Economía, aprueban la constitución de la empresa Diésel Nacional S.A. fecha en la que se decidió que su planta de ensamble fuera instalada en la Ciudad de Fray Bernardino de Sahagún en el estado de Hidalgo. En el año de 1952 Dina firma contratos de fabricación y asistencia técnica con la empresa italiana Fiat y desde el año de 1961 la empresa Dina comenzó con la fabricación de autobuses pasajeros tipo foráneo, comenzando con el modelo "Dina Flexible". Posteriormente, en el año 1989 la paraestatal Diésel Nacional (camiones, motores, plásticos y autobuses) fue adquirida por el consorcio Grupo "G" S.A. de C.V. propiedad de los hermanos jaliscienses Rafael, Armando, Alfonso y Raymundo Gómez Flores. Desde entonces ha logrado desarrollar tecnología del chasis y la carrocería 100% mexicana para sus camiones y autobuses que Dina Camiones produce.

Para continuar con el crecimiento que ha tenido la empresa, Dina Camiones ha incursionado nuevamente en el sector de autobuses de pasajeros tipo foráneo y sistemas BRT (Bus Rapid Transit), surgiendo la necesidad de producir los nuevos modelos Buller y Linner 12. El modelo Buller (Autobús foráneo) está destinado al transporte de pasajeros de grandes recorridos y de manera muy confortable, mientras que el modelo Linner 12 perteneciente al sistema BRT, está diseñado para el transporte masivo de pasajeros en grandes ciudades.

El interés en este proyecto es el poder aportar a Dina Camiones la experiencia y conocimientos adquiridos durante 20 años en el área de infraestructura de instalaciones

en la industria automotriz y al mismo tiempo formar parte del crecimiento que Dina Camiones está teniendo en su infraestructura. El estímulo en este proyecto surge de la aplicación directa de los conocimientos adquiridos durante las materias cursadas en la Maestría de Manufactura Avanzada.

El presente trabajo se orienta a proporcionar una solución a la necesidad que tiene Dina Camiones en la implantación de su nueva línea de producción para el ensamble de sus nuevos modelos (en lo que respecta a su infraestructura) y que sea lo suficientemente productiva y segura para alcanzar sus metas planteadas de producción y calidad.

### **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Actualmente Dina Camiones tiene en operación una planta de ensamble con una superficie de 34,000 m<sup>2</sup>, la cual está siendo utilizada para albergar tres líneas de ensamble con una capacidad de producción de dos modelos por línea (total seis). Para la producción de los nuevos modelos (Buller y Linner 12) se requieren de al menos 12,000 m<sup>2</sup> adicionales, por lo que en esta planta ya no es posible llevar a cabo este proyecto. Dina Camiones cuenta con una nave industrial sin uso, dentro del parque industrial con una superficie de 13,600 m<sup>2</sup>, que se considera adecuada para la instalación de esta nueva línea de producción, aunque se tiene el reto de adecuar toda la infraestructura necesaria para una línea de ensamble tales como: oficinas, almacenes, energía eléctrica, sanitarios, accesos, entre otros, debido a que actualmente no cuenta con estos servicios. Estas instalaciones deberán contar con una distribución de planta bien diseñada, que cubra los principios básicos de espacio y movilidad de materiales. Así mismo deberá contar con la maquinaria necesaria para la fabricación, con espacio suficiente para albergar los centros de trabajo y empleados para realizar todas las actividades del proceso de manufactura. La nueva línea de ensamble se tiene que adaptar a las condiciones de espacio e infraestructura que tiene actualmente esta nave industrial, por lo que es uno de los retos y problemas a resolver en este proyecto.



---

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

El diseño e implementación de esta nueva línea de producción para los modelos Buller y Linner 12, surge de la necesidad que tiene Dina Camiones de dar cumplimiento a los compromisos de ventas y/o entregas que se pudiesen adquirir en el corto y largo plazo con diversos clientes potenciales.

Así mismo, esta nueva línea de producción generara más de 200 empleos directos, tanto a nivel operativo como a nivel administrativo, lo que se traducirá en un beneficio a la comunidad, igualmente impulsara un desarrollo organizacional de Dina Camiones a mayor escala, satisfaciendo las necesidades de los clientes internos y externos a través de la comercialización de un producto en tiempo y con calidad.

Los beneficios mencionados serán posibles a través de la distribución de planta propuesta en este proyecto, obteniendo un mejoramiento de sus procesos de manufactura, mayor aprovechamiento de la mano de obra y una adecuada disposición de la materia prima; además, con esta nueva línea de producción Dina Camiones incrementara su capacidad productiva instalada, con lo cual, se busca satisfacer la demanda de este mercado tan competitivo y entregar productos de excelente calidad.

Si no se realiza esta planta de ensamble, se podría ocasionar un incumplimiento en la entrega a ventas y una probable cancelación en los contratos a firmar con los clientes potenciales, generando incertidumbre en el mercado por la falta de capacidad en la infraestructura de Dina Camiones para incrementar su capacidad productiva.

### 1.4 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una línea de producción en la nueva planta de ensamble de Dina Camiones, para la manufactura de los nuevos modelos Buller y Linner 12, mediante la aplicación de la metodología Systematic Layout Planning (SLP) para el diseño de la distribución de planta y para la construcción de la infraestructura, cumpliendo con la normatividad mexicana oficial vigente, con el fin de obtener instalaciones que sean lo suficientemente seguras, productivas y rentables para satisfacer oportunamente los compromisos que se pudiesen adquirir con los clientes en el futuro.

## 1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Revisar la literatura correspondiente al diseño y distribución de planta.
2. Proyectar el tipo y flujo de proceso de manufactura en línea de producción de acuerdo a la metodología SLP creada por la referencia [1]
3. Elaborar el Layout de distribución de la planta utilizando el software AutoCAD (determinar el número de estaciones de trabajo, distribución de almacenes, ubicación de maquinaria y elaboración de planos de energéticos).
4. Diseño de sistema eléctrico de la planta (sub-estación eléctrica, sistema de fuerza, sistema de alumbrado, sistema de tierras) basados en las NOM-001-SEDE-2012 [2], NOM-029-STPS-2011 [3], NOM-025-STPS-2008 [4], NOM-022-STPS-2008 [5].
5. Diseñar el sistema de aire comprimido (creación de red neumática en 3D utilizando el software AutoCAD y dimensionamiento de equipos de compresión) de acuerdo a las NOM-020-STPS-2011 [6], NOM-026-STPS-1994 [7].
6. Diseñar el sistema de grúas para el manejo de materiales (creación de dibujos 3D utilizando el software AutoCAD) siguiendo la normatividad siguiente: NOM-006-STPS-2000 [8], NOM-001-STPS-2008 [9].
7. Seleccionar la cabina de pintura, cumpliendo con las siguientes normas: NOM-002-SECRE-2010 [10], DIN 1946 [11], NOM-026-STPS-1994 [7], NOM-002-STPS-2010 [12], NOM-001-SEDE-2012 [2], NOM-022-STPS-2008 [5].
8. Seleccionar la cabina de preparación pintura. DIN 1946 [11], NOM-002-STPS-2010 [12], NOM-022-STPS-2008 [5], NOM-001-SEDE-2012 [2].
9. Seleccionar la instalar aplicación de poliuretano. DIN 1946 [11], NOM-002-STPS-2010 [12], NOM-022-STPS-2008 [5], NOM-001-SEDE-2012 [2].
10. Diseñar la cabina de hermetismo de acuerdo a las siguientes normas: NOM-004-STPS-1999 [13].
11. Seleccionar el dinamómetro de pruebas, de acuerdo a las normas siguientes: NOM-044-SEMARNAT-2006 [14], NOM-001-SEDE-2012 [2], NOM-004-STPS-1999 [13].

## **1.6 HIPOTESIS**

Mediante la metodología SLP y la aplicación de la normatividad mexicana aplicable a la construcción de instalaciones industriales, es posible diseñar la distribución de planta, instalaciones eléctricas, instalaciones mecánicas, oficinas, almacenes y servicios auxiliares en la nueva línea de producción de Dina Camiones, siendo lo suficientemente productiva, segura y rentable para el ensamble de los nuevos modelos Buller y Linner 12. Lo cual permitirá producir hasta tres autobuses diariamente de cualquier modelo y así cumplir oportunamente con los compromisos de ventas que se adquieran con los clientes potenciales.

## **1.7 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS**

Después de lo antes descrito, el Capítulo 2 describe el marco teórico donde se plasman trabajos recientes relacionados con el tema de investigación, con la intención de revisar las metodologías y técnicas utilizadas. En el Capítulo 3 se presenta el procedimiento de investigación acerca del diseño de distribución de planta del proceso de manufactura, correspondiente al tema de investigación. Por otro lado en este Capítulo se plantea el diseño de la infraestructura principal que se instalara en la planta de ensamble, además se dan evidencias de la selección de la maquinaria crítica del proceso. Por otro lado se plasma la viabilidad del proyecto. El Capítulo 4 presenta los resultados y conclusiones de la investigación.

Por último se presenta la conclusión de este proyecto, así como también se plasman algunas recomendaciones que se derivan después de realizar este trabajo.



## 2. MARCO TEÓRICO

---

La responsabilidad del ingeniero industrial es la de diseñar una instalación de producción que elabore el producto especificado a la tasa estipulada de producción y a un costo mínimo, ya que en la elaboración de un producto va directamente ligado a una buena distribución de planta, lo que se traduce en una disminución en los costos y en un aumento en la efectividad del proceso [15].

De manera que el presente capítulo introduce al lector en lo concerniente a investigaciones destacadas respecto al proyecto de investigación de interés y resalta las principales técnicas y metodologías empleadas en el diseño e infraestructura de naves industriales.

### 2.1 ESTADO DEL ARTE

En esta sección se presenta algunos estudios recientes relacionados al tema, con la finalidad de revisar las diferentes metodologías y técnicas utilizadas para el diseño de una distribución de planta adecuada, así mismo, se destacan las tendencias respectivas a tecnologías modernas necesarias para el desarrollo de este trabajo de investigación.

#### 2.1.1 Investigaciones destacadas sobre el tema

##### 2.1.1.1. Análisis del artículo dado por Wiendahl

Para *Wiendahl* [16], la proyección de las instalaciones es planear una empresa desde el inicio de sus operaciones, dicha proyección deberá ser sistemática y orientada a tareas, estructurada en fases y llevada a cabo con métodos y herramientas.

Este proceso se divide en siete áreas de planeación que a su vez se concentra en cuatro secciones claves, las cuales interactúan como se muestra en la Figura 1.

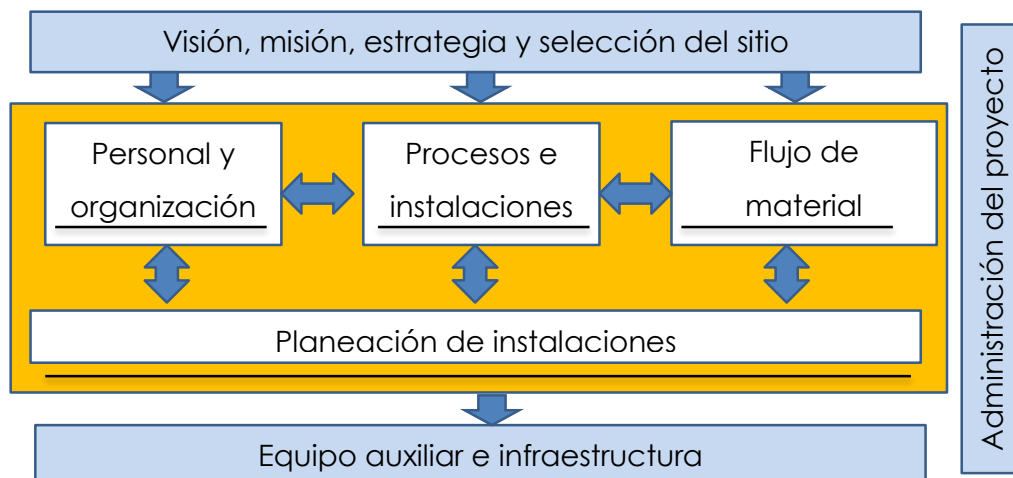


Figura 1. Áreas para la planeación de instalaciones [16].

Las siete áreas de la planeación mencionadas en la referencia [16], son las siguientes:

1. Una estrategia: Es el punto inicial en cualquier planeación de instalaciones para que defina el concepto de producción a largo plazo basado en conceptos de visión y misión de la compañía. Lo anterior nos lleva a incrementar la capacidad productiva dentro de las actuales instalaciones o a buscar nuevas, en esta etapa ya se pueden revisar factibilidad, costos y tiempos de ejecución.
2. Procesos e instalaciones: Tomando en cuenta las piezas importantes como producción, logística e instalaciones existentes y que son parte importante para la planeación.
3. Planeación de las instalaciones: La planeación del personal que laborara en estas instalaciones es importante para la planeación del proceso y de las instalaciones. En esta etapa se define la cantidad y su nivel de jerarquía. Así como se determina el proceso de producción para calcular la cantidad de personal.
4. Flujo de material: Su objetivo es una producción con bajo inventario, tiempos ciclo mínimos y reacciones rápidas. Por lo que esta fase es importante debido a que se define el flujo de material en el interior de las instalaciones, así como el surtimiento desde el exterior.
5. Espacio para personal y organización: Un espacio para la maquinaria, personal y material es necesario, el cual representa la cuarta importante referencia dimensional en la planeación de las instalaciones. Por lo tanto, los espacios son la base del

concepto de la construcción y la planeación del lugar. Los aspectos de ingeniería civil y arquitectura juegan un papel importante en esta etapa.

6. Equipo auxiliar e infraestructura: Es necesario cuando se tiene claro el concepto de las instalaciones, tal como estaciones de servicio, instalaciones de prueba, infraestructura para los energéticos (energía eléctrica, agua, gas, aire comprimido, vapor) así como la infraestructura de comunicación (redes locales) tienen que ser planeadas. En esta etapa se deberá tener bien en cuenta el ahorro en el consumo de la energía eléctrica, así como la asignación de un área para la disposición de los residuos que se generen en el proceso y finalmente considerar la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales.
7. Administración del proyecto: Es indispensable para el logro de los objetivos de este tipo de proyectos y su tarea es estructurar el proyecto en sub-proyectos, el establecimiento de planes de supervisión de tiempo y costos, así como elaborar reportes de avance del proyecto y su ejecución dentro de los tiempos establecidos por la dirección.

Por otro lado [17], todas las áreas de la planeación antes descritas deberán ser estructuradas en las siguientes fases:

1. Especificar el objetivo de las instalaciones.
2. Análisis de información.
3. Planeación del concepto de las instalaciones en general.
4. Planeación a detalle de las instalaciones.
5. Ejecución de los trabajos.
6. Supervisión de los trabajos.
7. Puesta en marcha e inicio de operaciones.

La referencia [16] utiliza estas fases, para realizar el Layout de una empresa de bombas, además utiliza un software con el fin de plasmar el Layout en tres dimensiones (3D), logrando visualizar de una manera detallada el diseño final del proceso de producción, la maquinaria y las instalaciones, para así poder predecir cualquier cambio necesario al Layout.

De igual forma, cuando se tiene una idea clara del concepto general se tiene que planear la infraestructura de los energéticos (energía eléctrica, agua, aire comprimido y

vapor) así como la infraestructura de comunicación (red local), poniendo énfasis en el ahorro de energía y asignando un área para los residuos que se generen en el proceso de producción. En este sentido [16] involucra todos los aspectos de la infraestructura, energéticos y medio ambiente. Por otro lado, se puede observar en este trabajo la importancia que tiene el poder visualizar las instalaciones desde sus inicios hasta el final en un ambiente tridimensional lo que da un enfoque más realista a la distribución.

### 2.1.1.2. Análisis del artículo dado por Blanco

Por otro lado Blanco [18] indica que un Layout se diseña para producir productos y servicios que cumplan las necesidades de los clientes, por lo que la ubicación de las instalaciones deberá ser más compacta y flexible. Aquí, se menciona que si se realiza un buen Layout los materiales recorrerán menores distancias, el producto se moverá en el proceso a una mayor velocidad, haciendo las operaciones de la empresa eficientes y flexibles, con cambios en el futuro con rapidez y mayor facilidad.

Para [18], el Layout de una empresa es el proceso del arreglo físico de los elementos industriales para constituir un sistema productivo capaz de cumplir los objetivos fijados de la mejor manera posible. Para tal efecto, tres factores clave se deberán tomar en cuenta en el desarrollo del Layout y son:

1. *Flexibilidad del Layout*: Un Layout tiene que ser lo suficientemente flexible para adoptar cambios de volumen de producción, nuevos productos, ampliaciones, cambios en el proceso, cambios de maquinaria, etc., consiguiendo todo lo anterior en poco tiempo y a un mínimo costo.
2. *Utilización del área productiva*: Se deberá llevar a cabo una medición exacta del área productiva con respecto del área que no agrega valor al proceso.
3. *Proximidad*: El recorrido de los materiales, personal y producto deberá ser el menor posible para llevar a cabo un proceso más eficiente.

De esta forma, la referencia [18] realiza un estudio para la elaboración del Layout en una empresa productora de vino tinto, utilizando el método SLP propuesto por [1]. Dicho método busca cumplir necesidades de proximidad y espacio, así como aspectos



concernientes al manejo de materiales, de igual forma, permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos y su relación entre ellos. La Figura 2, representa la metodología SLP.

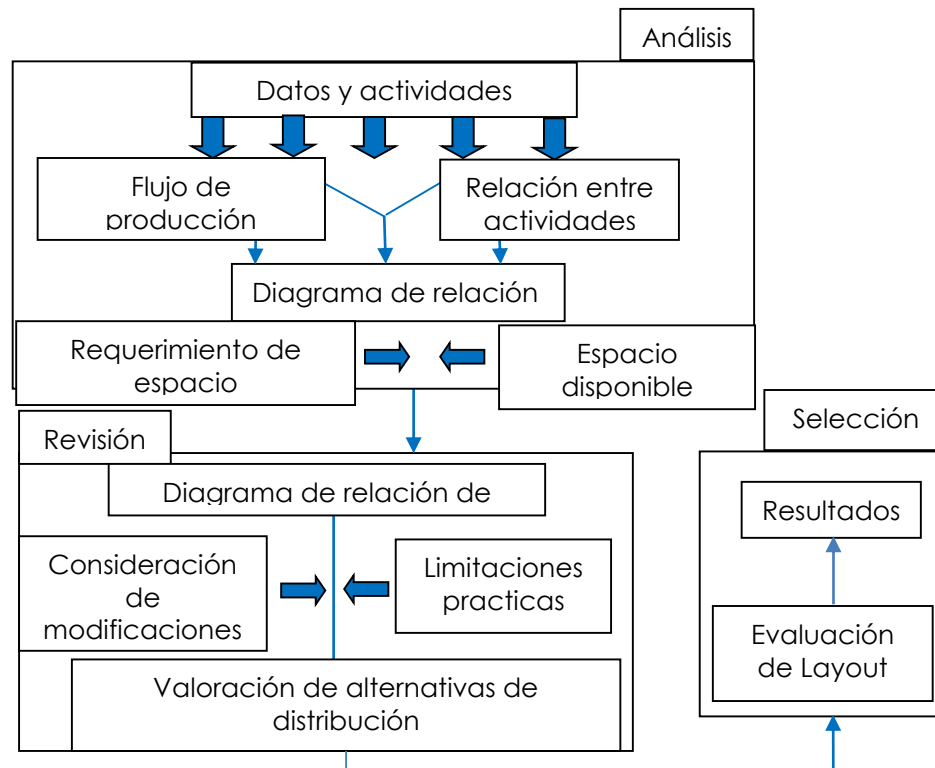


Figura 2. Metodología SLP [18].

Cabe mencionar que [18] resalta el aspecto de flexibilidad, debido a que según su percepción las empresas están constantemente cambiando sus procesos productivos por cambios en volúmenes de producción o por cambios en el diseño de sus productos, que por consiguiente requiere cambiar constantemente su distribución de planta, la cual si no está preparada ante estos cambios generara altos costos.

### 2.1.1.3. Análisis del artículo dado por Foulds

Por otra parte, el autor *Foulds* [19] indica que para el diseño del Layout de instalaciones se requiere proyectar un plan de nombre "bloque" del sistema que será diseñado. El bloque representa a las instalaciones del sistema (cada una de ellas con su respectiva área y forma). Un ejemplo de este método que incluye 11 instalaciones y un área exterior se muestra en la Figura 3.

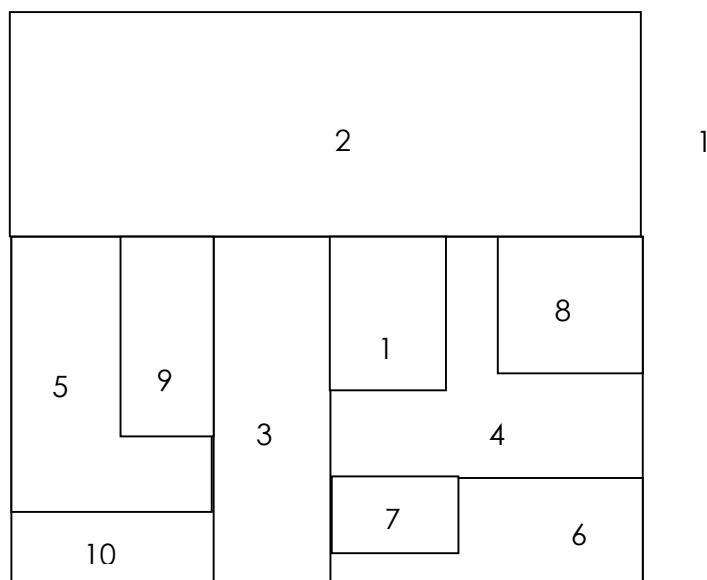


Figura 3. Un plan bloque [19].

La referencia [19] representa mediante este método la relación entre las diferentes áreas, cada una con su propia forma, la relación puede ser cuantitativa o cualitativa. Cada problema de Layout de instalaciones involucra la optimización de uno o más objetivos basados en dicha interrelación existente entre todas las áreas.

Debido a la complejidad que se tiene para este tipo de análisis se utilizan diferentes programas de computación, el más utilizado es CRAFT (Coordinate Relative Allocation of Facilities Technique), el cual requiere de un bloque inicial como entrada de datos y que posteriormente se mejora intercambiando la posición de dos o tres instalaciones a la vez. En los 90's surge un lenguaje de programación diferente llamado DSS (Decisión Support System), un ejemplo de estos es el Layout manager, el cual está escrito en Pascal y en un ambiente Windows.

Igualmente, el autor [19] afirma que el diseño de un Layout es importante para la optimización de costos, al mismo tiempo es indispensable para aumentar la productividad y por consecuencia la competitividad. La referencia [19] indica que hasta un 70% de costos de operación de una empresa se relaciona con el manejo de materiales y su Layout, por lo que el diseño adecuado del mismo trae consigo ahorros en el manejo de materiales, transporte y mejoras al proceso.

En conclusión [19] utiliza este método para realizar un Layout de una nueva instalación, con suficiente espacio para colocar los bloques libremente, sin embargo, no son

considerados los casos en donde ya se cuenta con infraestructura (donde se tenga que adaptar la nueva distribución a lo existente), además de que se requieren conocimientos algorítmicos y de computación para su diseño con el software propuesto.

#### 2.1.1.4. Análisis del artículo dado por Li

Para Li [20], la Realidad Virtual (RV) es un ambiente en tercera dimensión generado por computadora, que posteriormente es renderizado en tiempo real de acuerdo a las necesidades del usuario. El objetivo de la RV es lograr un máximo sentido de la realidad para el usuario.

El Layout de una instalación es un problema que debe satisfacer restricciones como la cualitativa y cuantitativa. Los aspectos cuantitativos del Layout de una instalación se ocupan para minimizar el flujo de materiales, equipos, gente y piezas de trabajo entre las células de trabajo. Los aspectos cualitativos del problema consideran temas tales como seguridad, estética y comodidad del operador. Existen métodos bien desarrollados para que un Layout pueda ser diseñado y analizado adecuadamente.

El autor [1] desarrollo el SLP que considera el proceso del Layout en primer plano como un Layout general y en segundo plano como un Layout a detalle. Por otro lado [20] describe una serie de paquetes de software comerciales para asistir en el diseño y análisis de los Layout. Sin embargo, todos esos métodos y herramientas de diseño son basados en una representación 2D de las instalaciones que no incluyen información detallada, tal como seguridad, estética del lugar de trabajo, conveniencias para el supervisor y para el trabajador. Por lo tanto, no hay lugar para el Layout a detalle. Las herramientas actuales basadas en CAD no están bien soportadas para generar un Layout a detalle y puede formar una barrera entre el planeador y los operadores de las maquinas. Algunos estudios arrojan que una falta de participación del operador durante la etapa de realización del Layout a detalle es una debilidad en las actuales herramientas para elaborar Layout. Así mismo una herramienta visual interactiva para la planeación y revisión de los Layouts por parte de los operadores de las máquinas y el diseñador sería lo más adecuado. Aquí es donde la RV tiene el potencial de agregar valor al incluir al operador en la etapa de la planeación [20].

La RV juega un importante papel en el diseño interactivo y análisis de complejos Layouts de instalaciones. Permite al operador y planeador experimentar los resultados de un diseño a un mínimo costo de inversión y tiempo. En el ambiente virtual el arreglo en el espacio de la fábrica, equipos, herramientas y materiales podrían ser representados en forma de 3D, que podría emigrar mejor la información necesaria por el proyectista. Las habilidades de interacción directa de la RV permiten al proyectista explorar posibles cambios con mínimos esfuerzos y reduce el nivel de habilidad requerida para la etapa de la planeación. La RV también tiene el potencial para aquellos quienes toman las decisiones finales sobre el Layout. El ambiente inmerso del 3D permite al usuario tomar decisiones más rápidas y exactas, cuando se compara con decisiones realizadas con información en 2D, por lo que [20], utiliza la interface Axxess-VR de ENVISION para lograr lo anterior.

#### 2.1.1.5. Análisis del artículo dado por Ting Yang

El autor *Ting Yang* [21] afirma que el Layout de planta es un importante factor que potencia la competitividad de una empresa y sus productos. En este documento se cita a la referencia [22] donde se hace notar que entre 20% y 50% del costo de operación se utiliza en el flujo de materiales, más sin embargo, un buen Layout puede ahorrar entre 10% y 30% de este costo. Lo anterior debido a que las diferentes áreas de una planta tienen interacción en términos de procesos de producción y también a que la configuración del sistema de producción no es solo un problema geométrico sino también un problema de flujo de producción.

La referencia [21] describe que la tecnología DFS (Digital Factory System) puede proveer un ambiente digital para elaborar el Layout de la planta para construir el modelo de la planta en 2D o 3D. El modelo del taller digital puede ser construido de acuerdo al dibujo arquitectónico. La fuente de información de manufactura es configurada en el taller digital de acuerdo a sus ubicaciones en el Layout. Posteriormente se construye una planta virtual 3D en la fábrica digital para mostrar la planta actual en un modelo 3D dentro de un ambiente digital. En la Figura 4 se muestra un ejemplo del Layout de planta en un ambiente de fábrica digital.

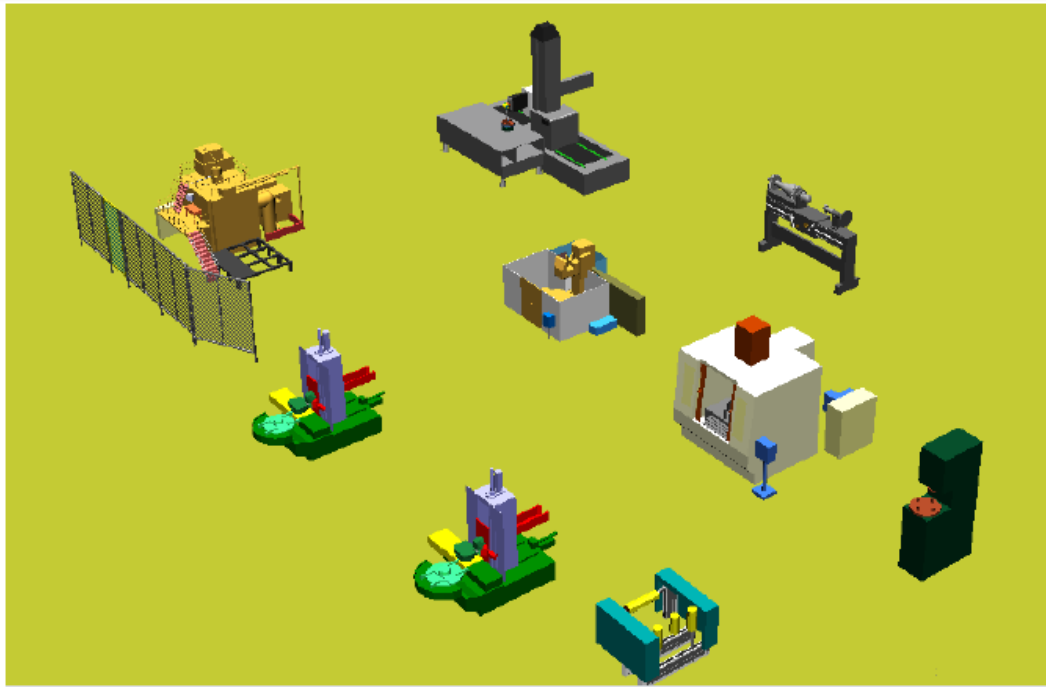


Figura 4. Planta digital en 3D [21].

El Layout puede ser ajustado en este ambiente debido a actualizaciones del proceso o del producto. Aquí es donde los diseñadores aprecian los atributos del ambiente virtual para elaborar estos cambios. Por medio del Layout en la fábrica digital, es fácil examinar las características de las máquinas, ya sea que tengan que ser reubicadas, o que necesitan ser planeadas desde un inicio cuidadosamente. En caso de reubicación, se debe considerar el movimiento de los equipos, las máquinas y sus periféricos tales como; tableros de control eléctrico (considerados para evitar interferencias con otras máquinas), columnas de la planta, tuberías, etc. La referencia [21] argumenta que estos problemas eran difíciles de resolver anteriormente. Un ejemplo de la reubicación de maquinaria en un sistema de fábrica digital, se muestra en la Figura 5. Cuando una maquina tiene que ser reubicada el diseñador de la planta arrastra el modelo digital para planear los cambios, en este momento las interferencias pueden ser detectadas, de esta forma una reubicación sin colisiones se puede llevar acabo.

La fábrica digital provee al Layout de planta no solo una descripción del espacio digital sino también el diseño de un ambiente digital. Pero el diseño de la planta es un problema complicado, aun en condiciones digitales debe mantener algunos principios para llevar a cabo una alta eficiencia en la producción y bajo costo en el manejo de materiales.

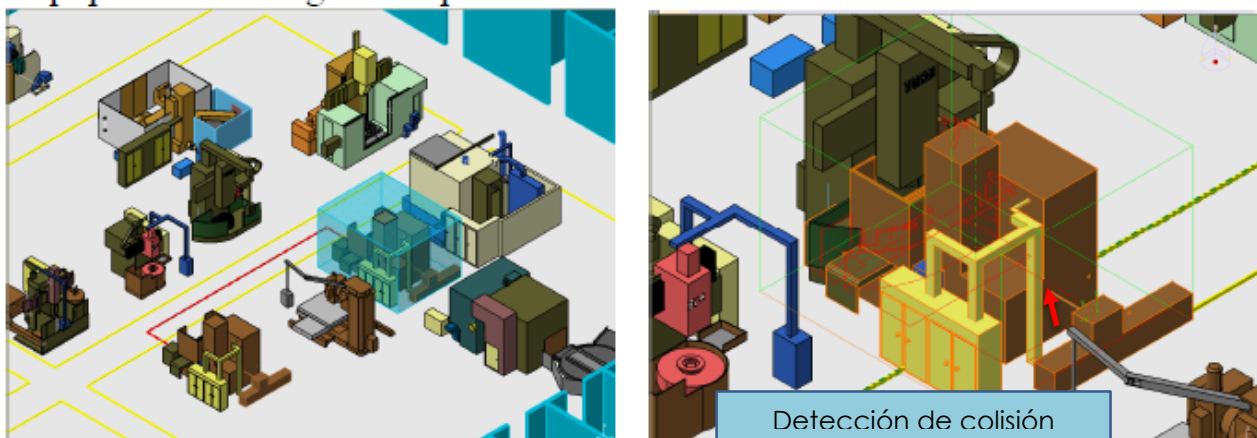


Figura 5. Reubicación de maquinaria en un sistema de fábrica digital [21].

En este mismo documento se observa que la evaluación y análisis del Layout deberá ser realizado tomando en cuenta los aspectos cuantitativo, cualitativo y ergonómico de la ingeniería. Estos tres factores son interactivos y sus consideraciones deberán ser hechas integralmente. La relación entre ellos se muestra en la Figura 6.

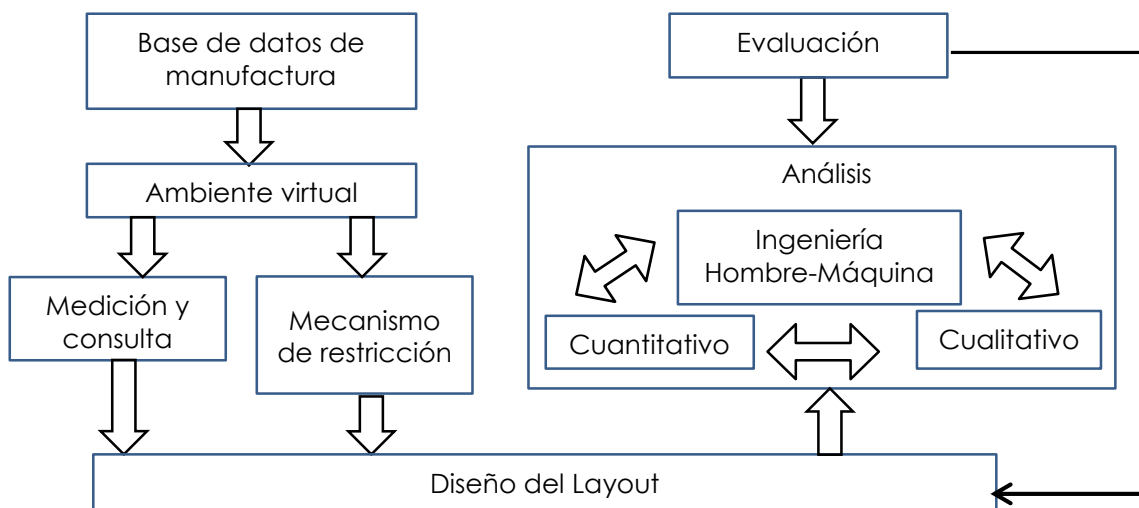


Figura 6. Principales etapas para el Layout en un DFS [21].

Los factores antes mencionados se describen como sigue:

- 1.-Análisis cuantitativo: Se consideran las relaciones interactivas entre equipos o unidades.
- 2.-Análisis cualitativo: Es la simulación de las operaciones de la maquinaria o proceso y verificar que no exista interferencia con otros procesos o equipos.
- 3.- Análisis ergonómico: a través de la simulación de la operación, factores tales como espacio del lugar de trabajo, la operación de los equipos y el ambiente son considerados para conseguir operaciones más seguras y eficientes.

Por último, el documento hace mención que para la operación correcta del DFS (Digital Factory System) y se utiliza software como; ERP (Enterprise Resource Planning), MES (Manufacturing Execution System) y PERT (Project Evaluation and Review Techniques), con la finalidad de determinar su interrelación y simular una corrida de producción para medir la eficiencia de la distribución de la maquinaria y proceso.

#### 2.1.1.6. Análisis del artículo dado por Guoxin Wang

Por otra parte, *Guoxin Wang* [23] utiliza de igual manera la RV para el diseño de un Layout y menciona que hay tres principales etapas en su elaboración apoyadas en esta tecnología:

- 1.- Diseño del Layout en 2D.
- 2.- Diseño del Layout basado en la optimización de la simulación.
- 3.- Diseño del Layout basado en RV.

La relación de las tres etapas se muestra en la Figura 7, los tres módulos comparten la misma base de datos. Una vez que el Layout es cambiado en un módulo, este sufrirá los cambios en los otros dos módulos al mismo tiempo.

*El módulo del diseño del Layout en 2D* donde el Layout puede ser construido rápidamente de acuerdo al escenario de la vida real, es de hecho una interface de entradas y salidas de todo el sistema. Si el escenario de la vida real no existe, los diseñadores tienen que diseñar un plan inicial que contenga cantidad, tipo y posición de la maquinaria, así como número de centros de trabajo que estarán en la línea de

producción. Cada máquina en el módulo es representada por un modelo 2D correspondiente a un modelo en 3D usado en el sistema de RV.

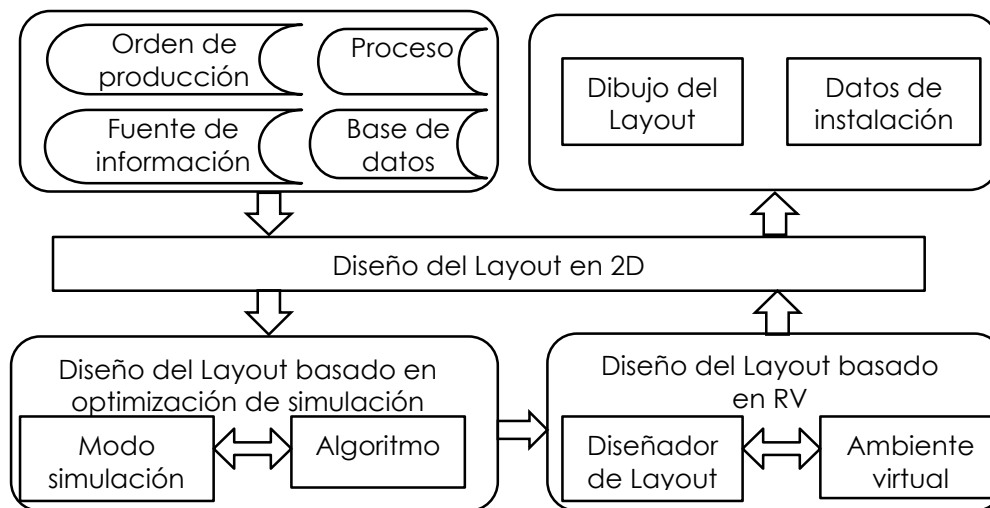


Figura 7. Arquitectura del sistema del diseño del Layout de instalaciones [23].

Estos modelos son almacenados en la base de datos y cuando los diseñadores elaboran el Layout, ellos solo seleccionan el modelo a ser utilizado lo arrastran y pegan. El Layout en 2D puede ser importado dentro del módulo de optimización de la simulación o al sistema de RV para ser mejorado desde la perspectiva cualitativa o cuantitativa.

La simulación incluye el modelo y la optimización del algoritmo lo que lleva medir el desempeño cuantitativo, así como la evaluación de la función. Basados en los datos obtenidos del Layout en el *módulo 2D*, la simulación del modelo y el algoritmo de optimización trabajan juntos para mejorar el Layout hasta obtener el resultado cercano a lo óptimo. El resultado óptimo puede ser importado al sistema de la *RV* y así los diseñadores pueden ser capaces de sumergirse en el ambiente virtual para reubicar las maquinas a una mejor ubicación y manipular las máquinas virtuales hasta que se logre un Layout ideal.

Después de que todas las modificaciones sean llevadas a cabo, el Layout final puede ser transferido de regreso al módulo de 2D. El dibujo del Layout en 2D y la información cuantitativa que es equivalente al dibujo del Layout puede ser impreso. Estos resultados obtenidos son usados para asistir a diseñadores a construir la actual línea de producción. Así, un sistema de *RV* es desarrollado en el papel y es capaz de importar el Layout del módulo de 2D o del módulo de simulación y optimización, para después ejecutar las



fases de evaluación y validación. Para diseñar el Layout convenientemente y rápidamente el sistema RV provee las siguientes funciones.

- 1.- *Conversión de geometría de funciones:* Los modelos necesarios por el sistema RV son usualmente creados por software CAD, tal como CATIA, Pro/E o Solid Works, que son principalmente basados en superficies exactas y representación de sólidos. Si los modelos CAD son directamente usados en el sistema RV, las operaciones interactivas en tiempo real entre los usuarios y objetos virtuales serían imposibles. Para poder mejorar la eficiencia interactiva, los modelos CAD deben ser convertidos.
- 2.- *Administración del modelo:* Incluye dos módulos, administración de operación del modelo y administración de información del modelo.  
El primero está a cargo de importar los modelos del exterior hacia su base de datos, así el diseñador puede visualizar estos modelos desde diferente dirección, hacer zoom, rotarlos etc. El segundo es responsable de definir, modificar y borrar los atributos de los modelos de una forma interactiva, estos atributos incluyen, nombre, parámetros técnicos etc. En este caso se utilizó el software de simulación eM-Plant 7.0 para la creación de los modelos en el sistema RV.
- 3.- *Medios interactivos:* Los medios inmersos o no inmersos son provistos por el sistema RV. Un display montado en la cabeza, unos guantes recolectores de datos pueden ser conectados a un sistema RV para generar un ambiente inmerso. La mano virtual es usada para capturar el objeto virtual y el teclado es usado para ingresar datos de coordenadas absolutas o relativas de los objetos virtuales en un ambiente no inmerso.
- 4.- *Función del diseño asistido:* Algunas funciones específicas tal como una medida, una investigación que soporte el diseño del Layout son también provistas en el sistema de RV. La función medida es utilizada para medir el ángulo de la máquina virtual o la distancia entre dos máquinas virtuales. La función investigar indaga los valores de los atributos del objeto virtual, tales como nombre, valor de coordenadas, dirección, largo, ancho, área, etc. Son muy eficientes y convenientes para el diseñador estas funciones cuando elabora el Layout.
- 5.- *Detección de restricciones del Layout:* Algunas restricciones del Layout son establecidas en el sistema de RV. Las restricciones actúan sobre los objetos virtuales y representan la relación de espacio entre los objetos tal como la distancia menor entre dos máquinas virtuales o representan el acceso hacia las máquinas virtuales.

6.- *Administración de la escena virtual*: Para poder facilitar al diseñador interactuar con el sistema de la RV, la principal ventana es dividida en tres sub-ventanas. Una de ellas es el ambiente virtual de 3D que incluye modelos y objetos reales. La segunda es un dibujo del Layout en 2D, que contiene información acerca de la vista que está siendo presentada en la ventana de 3D. La tercera contiene información de atributos con respecto a los objetos 3D dentro del espacio. El sistema RV crea un taller virtual para que el diseñador pueda colaborar en conjunto con la gerencia y operadores para experimentar y evaluar el Layout.

El diseño del Layout de instalaciones de manufactura es una rica y amplia área de investigación de la ingeniería industrial. Recientes investigaciones han mostrado que tanto con el ambiente virtual inmerso como el no inmerso el diseñador puede diseñar rápido e intuitivamente los Layouts en 3D y puede fácilmente visualizar, entender y evaluar los mismos. Por supuesto antes de que las técnicas de RV puedan ser aplicadas al diseño real y necesidades de producción, hay trabajo que debe ser realizado, tales como graficas de mejora continua e integración con algunas otras herramientas de diseño de Layout.

El trabajo antes expuesto, se realizó basado en problemas actuales que se presentan en el proceso de manufactura. La bibliografía de investigación de manufactura es base de la fábrica digital. De esta forma, la planta digital a través de la configuración puede proveer un ambiente virtual para ajustar y diseñar el Layout de una planta real. La tecnología de la fábrica digital puede enormemente promover la productividad de una empresa de manufactura con respecto a su estado actual [23].

#### 2.1.1.7. Análisis del artículo dado por Mezger

Para Mezger [24] el objetivo de la producción ha cambiado, anteriormente las compañías estaban enfocadas en la productividad, pero hoy en día se enfocan en la aceleración de sus procesos y en el incremento de su flexibilidad. La principal razón de que se tengan menos ganancias mientras se comercializa un producto es porque el producto alcanza el mercado demasiado tarde. Este proceso no solo involucra el desarrollo del producto sino también la planeación de la producción y el diseño de

instalaciones. Es bien sabido por todos que la vida de un producto es cada día más corta, pero pocos aceptan que los ciclos de innovación necesitan metodologías completamente nuevas para el diseño de instalaciones.

El uso de herramientas como software para el diseño de instalaciones en todas sus etapas es muy útil para acelerar los procesos productivos. Además, el uso de técnicas probadas de involucramiento de empleados, por ejemplo, eventos de información, talleres de creatividad y planeación los cuales garantizan una amplia participación, por otro lado, el uso de herramientas como sistemas 3D-CAD y software de RV son utilizados para mejorar la participación de todos. La principal idea en este concepto de manufactura virtual es que paralelo al mundo real de la compañía, se modela un mundo virtual donde se realizan experimentos.

Una condición para el uso de este mundo virtual es la comparación continua con el mundo real y la adaptación inmediata en los modelados. El diseñador puede interactuar dentro del modelo de la fábrica virtual al poder ver, escuchar y sentir, por lo que puede descubrir e interpretar el modelo y poder realizar decisiones basadas en estas experiencias. Se puede concluir que con el uso de la RV los involucrados pueden participar activamente en el proceso de planeación.

En este estudio el autor utiliza un software llamado Mod!Fact como una herramienta intuitiva e interactiva para la planeación. Esta herramienta utiliza la RV para el diseño del Layout.

Un ejemplo del uso de esta herramienta fue el rediseño de una línea de producción de una empresa farmacéutica, donde el proyecto era cambiar una parte de la producción hacia otra instalación de manufactura ya existente, la solución incluyó a los empleados afectados, donde el resultado fue un Layout elaborado en conjunto con todas las partes afectadas. En este caso la motivación generada por la integración de todos los empleados fue considerada como primordial, posteriormente la información recopilada por cada uno de los empleados para la futura generación del modelo de RV fue factor básico, así como la comunicación e interacción de todas las áreas afectadas, dando como resultado varios escenarios los cuales fueron probados y al final se seleccionó el más adecuado para cada uno de los empleados y áreas afectadas.

### 2.1.1.8. Análisis del artículo dado por Cerón

De acuerdo con Cerón [25], Lean Manufacturing es la persecución de una mejora del sistema de fabricación mediante la eliminación de desperdicios, entendiendo como desperdicio todas aquellas acciones que no aportan valor al producto y por las cuales el cliente no está dispuesto a pagar. Lean Manufacturing (también llamada Toyota production system) puede considerarse como un conjunto de herramientas que se desarrollaron en Japón inspiradas en parte en los principios de William Edwards Deming. El pensamiento Lean no solo establece como proporcionar al cliente los bienes o servicios que realmente quiere, sino también dárselos cuando realmente lo necesitan. El pensamiento y filosofía de Lean Manufacturing es la siguiente:

- Lo único que importa producir es lo que el cliente realmente percibe como valor, por lo que un aspecto esencial es entender quién es el cliente (externo o interno) y que quiere, es decir comprender sus necesidades, expectativas y requerimientos e incorporarlos a los procesos de trabajo.
- Cada tarea o actividad debe añadir valor, hay que identificar el camino de valor con el fin de eliminar el desperdicio, desde que se introduce la materia prima y se transforma hasta que se entrega el producto final al cliente.
- Hay que conseguir que el producto fluya continuamente agregando valor y eliminar en la medida de lo posible la producción por lotes. Para llegar a un movimiento continuo del proceso hay que eliminar obstáculos representados en máquinas que constituyen cuellos de botella y eliminar los transportes innecesarios debido a malos diseños.
- Se debe introducir el Pull System en el proceso, una vez que se ha fijado el esquema del flujo continuo en el proceso de trabajo. Es decir, se debe producir baja demanda del cliente tratando de dar en todo momento una respuesta rápida a sus peticiones con lo que se evita una sobreproducción y la acumulación de inventarios.
- Es necesario tender hacia la perfección y gestionarla; la perfección en el pensamiento Lean no solo significa librar tanto de defectos como de errores los procesos y productos, también implica la entrega a tiempo de productos que cumplan con los requerimientos del cliente a un precio justo y con la calidad especificada [25].

Algunas técnicas usadas en Lean Manufacturing son las siguientes:

1. VSM (Value Stream Mapping).
2. Kaisen.
3. Just in time/Kanban.
4. Six sigma.
5. Poka Yoke.
6. 5'S.

El autor [25] utiliza esta técnica para mejorar el proceso productivo de una empresa de la industria vinícola logrando lo siguiente:

- Aumento de más de 30% en la productividad.
- Reducción de inventario en más de un 75%.
- Reducción de un 20% de defectos por año.
- Reducción en tiempo de maduración superior al 70%.
- Mejora de más de 10% en la utilización de la mano de obra directa y de un 50% en mano de obra indirecta.
- Mejora del 30% del espacio y la maquinaria.
- Reducción de costos en general.
- Reducción de la energía utilizada.

Es importante mencionar que para la implementación de Lean Manufacturing en una empresa es necesario analizar y modificar el proceso de producción y la manera de operar de todos los involucrados en el proceso. Lean Manufacturing es más que una simple regla de implementación para realizar mejoras en un proceso, es una filosofía, una estructura de pensamiento direccionada hacia el cambio y mejora continua.

Sin embargo [25] menciona que es necesario tener en cuenta que no todos los ambientes de producción son aptos para la implementación de Lean Manufacturing debido a las restricciones que tiene la herramienta. Pero en nuestro proyecto de implementación de línea de ensamble de autobuses, esta herramienta es adecuada para la optimización del proceso de producción.

### 2.1.2 Análisis comparativo de la literatura revisada

Después de revisar la literatura relacionada con este proyecto se puede observar que, con el paso del tiempo se ha estado integrando nuevas tecnologías para la realización de la distribución de planta, que son de mucha utilidad para prevenir fallas en el sistema a diseñar. A continuación, se muestra en la Tabla 1 un resumen de las diferentes metodologías y técnicas utilizadas:

Tabla 1. Resumen de metodologías y técnicas utilizadas en el marco teórico.

| <b>Autor</b>          | <b>Metodología</b>                   | <b>Software</b>  | <b>Área de aplicación</b>   |
|-----------------------|--------------------------------------|--|---|
| <b>Wiendahl [16]</b>  | Siete áreas de planeación según [17] | Software de fábrica digital                            | Industria manufacturera.  |
| <b>Blanco [18]</b>    | Systematic Layout planning (SLP)     | Office, AutoCAD  | Industria manufacturera, hospitales, escuelas, comercio.                        |
| <b>Foulds [19]</b>    | Metodología por bloques              | CRAFT, DSS   | Industria manufacturera, servicios, hospitales, escuelas, complejos deportivos. |
| <b>Li [20]</b>        | Técnica de Realidad Virtual (RV)     | CAD 2D Y 3D, Axxess-VR ( ENVISION)                     | Industria manufacturera   |
| <b>Ting Yang [21]</b> | Digital Factory System (DFS)         | CAD 2D Y 3D, ERP, MRL, MES, PERT                       | Industria manufacturera, hospitales, escuelas, comercio                         |
| <b>Guoxing [23]</b>   | Técnica de Realidad Virtual          | CATIA, Pro/E, Solid Works, 3D Studio Max, eM-Plant 7.0 | Industria manufacturera, hospitales, escuelas, comercio                         |
| <b>Mezger [24]</b>    | Técnica de Realidad Virtual (RV)     | 3D-CAD, ModjFact                                       | Industria manufacturera   |
| <b>Cerón [25]</b>     | Lean Manufacturing                   | Office.  | Industria Manufacturera   |

Cabe mencionar que derivado del análisis de la literatura se hará uso de la metodología SLP por su simpleza y amplio uso en la industria manufacturera, sin tomar en cuenta algunas otras como las mencionadas en la Tabla 1. Además de que se utilizara el Software AutoCAD para el desarrollo de los dibujos, gracias a que se cuenta con la licencia necesaria.

---

## 2.2 TÉCNICAS RELACIONADAS

A continuación, se describen las principales técnicas revisadas en el marco teórico, las cuales serán utilizadas en el presente trabajo y que han sido aplicadas en el sector industrial, resultando efectivas para el diseño de la distribución de planta.

### 2.2.1 Distribución de planta

De acuerdo a [26] la distribución en planta implica la ordenación física y racional de los elementos productivos garantizando su flujo óptimo al más bajo costo. Esta ordenación ya instalada o en proyecto, incluye tanto los espacios necesarios para el movimiento de material, almacenamiento, maquinas, equipos de trabajo, trabajadores y todas las otras actividades o servicios.

En general la distribución en planta persigue dos intereses: un interés económico, con el que se busca aumentar la producción y reducir costos; y por otro lado, el interés social con el que se busca darle seguridad al trabajador y satisfacción por el trabajo que realiza.

#### 2.2.1.1 Importancia de la distribución de planta

Por medio de la distribución en planta se consigue el mejor funcionamiento de las instalaciones. "Una estrategia para la distribución de instalaciones debe surgir a través de un plan estratégico en donde intervengan el producto, la manufactura, distribución de marketing, gerencia y el recurso humano, los cuales tendrán un impacto directo en la distribución de instalaciones" [27].

Si la distribución está mal diseñada, las empresas se enfrentarán constantemente con costosas ineficiencias o con redistribuciones muy caras. Por lo que la primera instalación debe ser adecuada, para minimizar los costos de posteriores modificaciones. Para lograr lo anterior, los cambios de ubicación de las maquinas deben realizarse en la etapa de planificación y con el tiempo suficiente para hacer pruebas, que es el principal componente de esta actividad [28].

### 2.2.1.2 Ventajas de tener una buena distribución de planta

De acuerdo a [29] se tienen las siguientes ventajas cuando se realiza una buena distribución de planta dentro de un proceso de manufactura:

1. Disminución de las distancias a recorrer por los materiales, herramientas y trabajadores.
2. Circulación adecuada para el personal, equipos móviles, materiales y productos en elaboración, etc.
3. Utilización efectiva del espacio disponible según la necesidad.
4. Seguridad del personal y disminución de accidentes.
5. Localización de sitios para inspección, que permitan mejorar la calidad del producto.
6. Disminución del tiempo de fabricación.
7. Mejoramiento de las condiciones de trabajo.
8. Incremento de la productividad y disminución de los costos.

### 2.2.1.3 Principios básicos de la distribución de planta

Por otra parte, la referencia [1] plantea seis principios que sirven de base para establecer la metodología SLP, mismos que permiten abordar el problema de la distribución de planta de forma ordenada y sistemática:

#### 1. Principio de la integración de conjunto

La distribución óptima será aquella que integre al hombre, materiales, máquinas y cualquier otro factor de la manera más racional posible, de tal manera que funcionen como un equipo único. No es suficiente conseguir una distribución adecuada para cada área, sino que debe ser también adecuada para otras áreas que tengan que ver directa o indirectamente con ella.

#### 2. Principio de la mínima distancia recorrida

Una buena distribución es la que permita mover el material a la distancia más corta posible entre operaciones consecutivas. Al trasladar el material se debe procurar el ahorro, reduciendo las distancias de recorrido; esto significa que se debe tratar de colocar operaciones sucesivas, inmediatamente adyacentes unas a otras.



### 3. Principio de la circulación o recorrido

Una distribución eficiente es aquella que tenga ordenadas las áreas de trabajo en la misma secuencia en que se transforman o ensamblan los materiales. Este es un complemento del principio de la mínima distancia recorrida y significa que el material se moverá progresivamente de cada operación a la siguiente, sin que existan retrocesos en el proceso o movimientos transversales fuera de la línea de producción, buscando un progreso constante hacia su terminación sin interrupciones e interferencias. Esto no implica que el material tenga que desplazarse siempre en línea recta, ni limita el movimiento en una sola dirección.

### 4. Principio del espacio cubico

En igualdad de circunstancias, será más económica aquella distribución que utilice los espacios horizontales y verticales, ya que se obtienen ahorros de espacio.

Una buena distribución es aquella que aprovecha las tres dimensiones en igual forma.

### 5. Principio de satisfacción y seguridad

Una correcta distribución será aquella que proporcione a los trabajadores seguridad y confianza, para que realicen el trabajo satisfactoriamente. La seguridad es un factor de gran importancia, una distribución nunca puede ser efectiva si somete a los trabajadores a riesgos o accidentes.

### 6. Principio de flexibilidad

La distribución en planta más efectiva, será aquella que pueda ser ajustada o reordenada con el mínimo de inconvenientes y al costo más bajo posible. Las plantas pierden a menudo dinero al no poder adaptar sus sistemas de producción con rapidez a los cambios constantes del entorno, de ahí que la importancia de este principio es cada vez mayor.

#### 2.2.1.4 Tipos de distribución de planta

La producción es la acción coordinada de operarios y maquinaria que actúan sobre los materiales modificando la forma del producto para convertirlos en algún producto final. El movimiento de las partes involucradas en este proceso es indispensable para que se

lleve a cabo eficientemente la producción. En algunos casos se trasladarán los operarios en otros casos el material o incluso la maquinaria tendrá que desplazarse.

Por lo anterior y de acuerdo a [26] existen cuatro tipos principales de distribución de planta:

### 1.- Distribución por posición fija

Se trata de una distribución en que el producto a ensamblar no se desplaza en la fábrica, sino que permanece en un solo lugar y que por lo tanto toda la maquinaria y demás equipo necesarios se llevan hacia él. Se emplea cuando el producto es voluminoso y pesado, además que solo se producen pocas unidades al mismo tiempo. Se requiere poca especialización en el trabajo, pero gran habilidad y obreros calificados. Ejemplos de este tipo de distribución son: montajes de calderas en edificios, fabricación de barcos, aviones, etc. La referencia [30] ilustra gráficamente un ejemplo de distribución por posición fija para la construcción de aeronaves (Ver Figura 8).

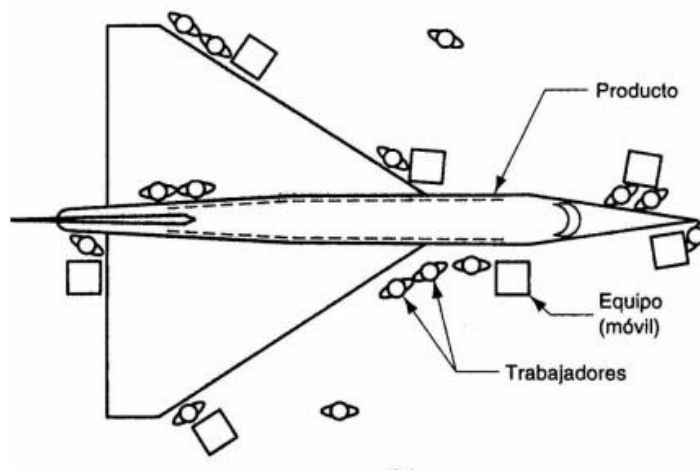


Figura 8 . Ejemplo de distribución por posición fija: construcción de aeronaves [30].

### Ventajas:

- Reduce el manejo de piezas grandes, aunque se aumentara el de piezas pequeñas.
- Responsabiliza al trabajador de la calidad de su trabajo, mientras más hábiles sean estos, menos inspectores se requerirán.
- Altamente flexibles, permiten cambios frecuentes en el diseño y secuencia de los productos y una demanda intermitente.

- No requieren una ingeniería de distribución costosa.

#### Desventajas:

- Escasa flexibilidad en los tiempos de fabricación, el flujo de fabricación no puede ser más rápido que la actividad más lenta.
- Inversión elevada en equipos específicos.
- El conjunto depende de cada una de las partes, la parada de alguna maquina o la falta de personal en algunas de las estaciones de trabajo puede parar la cadena completa.
- Trabajos muy monótonos que afectan la moral del personal.

#### 2.- Distribución por proceso

En este tipo de distribución todas las operaciones de la misma naturaleza están agrupadas. Este sistema de disposición se utiliza generalmente cuando se fabrica una amplia gama de productos que requieren la misma maquinaria y se produce un volumen relativamente pequeño de cada producto. También cuando la maquinaria es costosa y no puede moverse fácilmente y cuando se tiene una demanda intermitente, por ejemplo: fábricas de hilados y tejidos, talleres de mantenimiento e industrias de confección, como se muestra en la Figura 9.

El problema principal en este tipo de distribución es localizar los centros de trabajo para optimizar el flujo entre secciones.

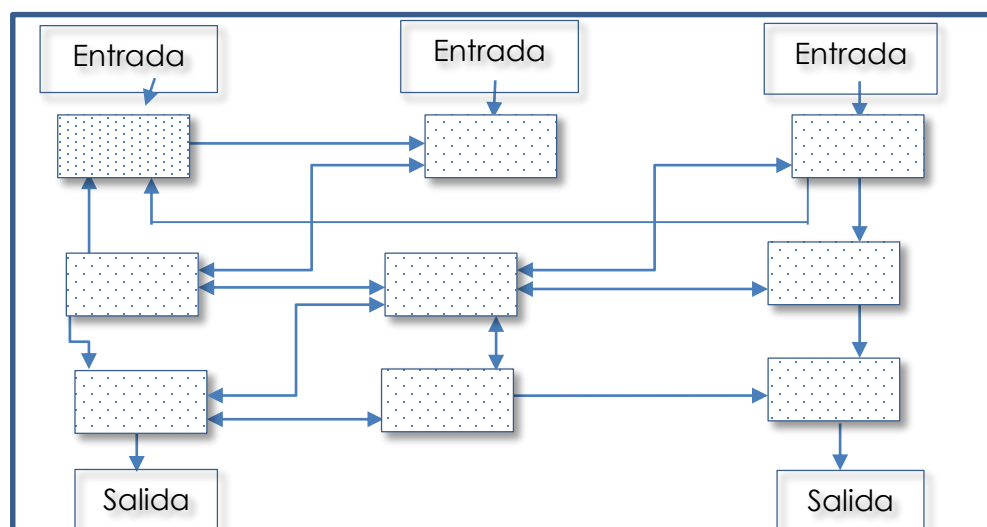


Figura 9 . Distribución por proceso [26].

Ventajas:

- a) Todos los productos que se fabrican en planta comparten las mismas máquinas por lo que la capacidad de cada una de ellas puede emplearse al máximo reduciendo el número de máquinas necesarias.
- b) Una gran flexibilidad para ejecutar los trabajos. Es posible asignar tareas a cualquier máquina de la misma clase que esté disponible en ese momento.
- c) Adaptable a gran variedad de productos. Cambios fáciles cuando hay variaciones frecuentes en los productos o en el orden en que se ejecuten las operaciones.
- d) Los operarios son más hábiles porque tienen que saber manejar cualquier maquina (grande o pequeña) del grupo, ejecutar operaciones especiales, calibrar la maquinaria, lo que se traduce en mayores incentivos.
- e) Una avería en cualquier maquina no influye de forma decisiva en la planificación, ya que la carga de trabajo de esta máquina se reparte entre la demás maquinaria.

Desventajas:

- a) Existe mayor dificultad para fijar las rutas y los programas de trabajo.
- b) La separación de las operaciones y las mayores distancias que tienen que recorrer para el trabajo, dan como resultado, más manipulación de materiales y costos más elevados, empleándose una mayor mano de obra.
- c) Para optimizar el transporte se fabrica en lotes grandes, anticipando la entrega a otros departamentos antes de lo necesario, aumentando los inventarios de proceso.
- d) La falta de disposiciones compactas de producción en línea y el mayor esparcimiento entre unidades del equipo en departamentos separados, significa más superficie ocupada.
- e) Sistemas de control de producción más complicados y falta de un control visual.

### 3.- Distribución por producto o en línea

También denominada “producción en cadena”. En este caso toda la maquinaria y equipos necesarios para fabricar un determinado producto se agrupan en una misma zona y se ordenan de acuerdo con el proceso de fabricación. Se emplea principalmente en los casos en que exista una elevada demanda de uno o varios productos más o menos normalizados, como se muestra en la Figura 10.

Ejemplos típicos son el embotellado de refrescos, el ensamble de automóviles y el enlatado de alimentos.

También es recomendable este tipo de distribución cuando la demanda es constante y cuando el suministro de materiales es fácil y continuo. El problema principal que se puede presentar en este tipo de distribución es el balance de las líneas de producción [26].

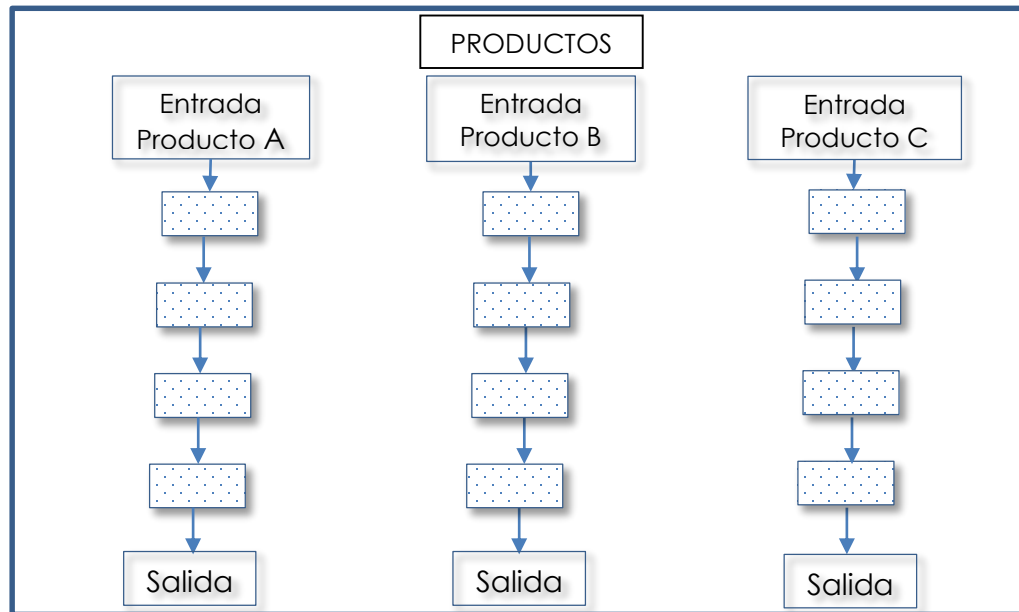


Figura 10. Distribución por producto [13].

Ventajas:

- El trabajo se mueve siguiendo rutas definidas y directas, lo que hace que sean menores los retrasos en la fabricación.
- Menor manipulación de materiales debido a que el recorrido al centro de trabajo es más corto sobre una serie de maquinaria sucesiva, contigua o puestos de trabajo adyacentes.
- Menores cantidades de trabajo en curso, poca acumulación de materiales en las diferentes operaciones y por ende menos inventario en proceso.
- Cantidad limitada de inspección, quizá solamente una antes de que el producto entre en la línea y otra después que salga de ella y poca inspección entre ambos puntos.
- Se obtiene una mejor utilización de la mano de obra debido a que existe mayor especialización de trabajo.

Desventajas:

- a) Elevada inversión en maquinaria, debido a que algunas líneas de fabricación no pueden emplearse para realizar otras.
- b) Menos flexibilidad en la ejecución de trabajo, porque las tareas no pueden asignarse a otras máquinas similares, como en la disposición por proceso.
- c) Menor habilidad en los operarios. Cada uno aprende un trabajo en una maquinaria determinada o en un puesto que a menudo consiste en máquinas automáticas que el operario solo tiene que alimentar.
- d) Peligro que se pare toda la línea de producción si una maquina sufre un daño.
- e) El ritmo de producción es fijado por la maquina más lenta (cuello de botella).

#### 4.- Distribución híbrida

Los diseños híbridos en esencia, buscan poder beneficiarse simultáneamente de las ventajas derivadas de las distribuciones por producto y las distribuciones por proceso, particularmente de la eficiencia de las primeras y de la flexibilidad de las segundas, permitiendo que un sistema de alto volumen y uno de bajo volumen coexistan en la misma instalación.

Existen dos técnicas para crear diseños híbridos: las células de un trabajador con múltiples máquinas y las células de tecnología de grupo; definiéndose como células a la agrupación de máquinas y trabajadores que elaboran una sucesión de operaciones sobre múltiples unidades de un ítem o familia de ítems [26].

##### a) Célula de un trabajador con máquinas múltiples

En este tipo de distribución un trabajador maneja varias máquinas diferentes al mismo tiempo, para producir un flujo de línea. Se aplica perfectamente cuando los volúmenes de producción. Las maquinas se disponen formando círculos o en forma de "U" de tal manera que el trabajador pueda controlar y operar todas las máquinas, para mejor referencia el autor [30] ilustra gráficamente un ejemplo de este tipo de distribución (Ver Figura 11).

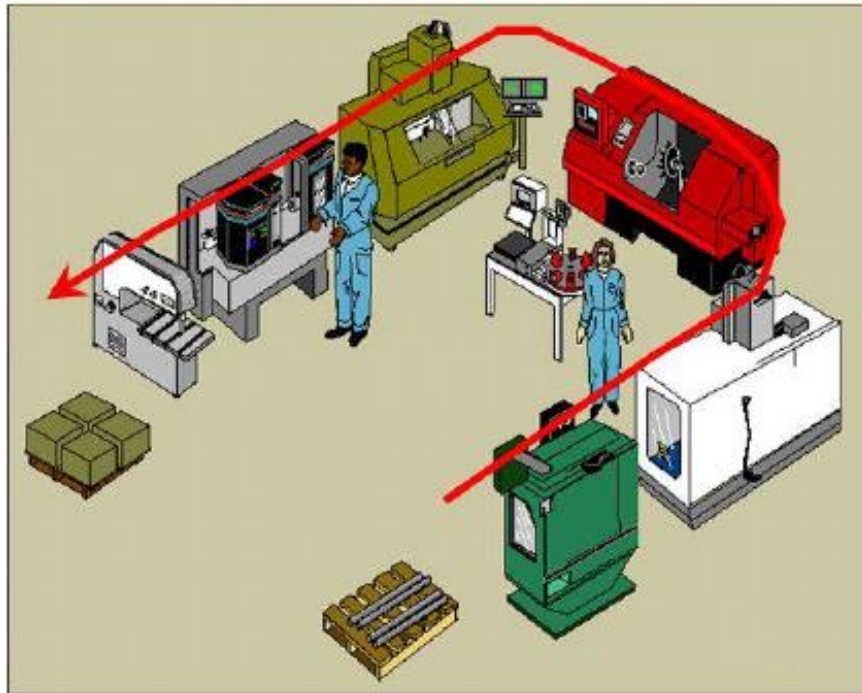


Figura 11. Ejemplo de proceso en "U" [30].

Esta distribución reduce los niveles de inventario ya que los materiales pasan directamente a la siguiente operación sin generar almacenamientos esperando a ser utilizado [26].

#### b) Tecnología de grupo

Esta es otra opción para volúmenes de producción pequeños en los que se quiere obtener las ventajas de una distribución por producto. Esta técnica genera células que no se limitan a un solo trabajador, aquí las partes o productos con características similares se agrupan en familias junto a las máquinas utilizadas para su producción, con el objetivo de minimizar los cambios o ajustes para la preparación de las máquinas.

Una vez hecho esto, el siguiente paso consiste en distribuir las máquinas necesarias para la realización de los procesos básicos en células separadas que requieren solamente ajustes menores para pasar de la fabricación de un producto a otro dentro de la misma familia. Esto simplifica las rutas que recorren los productos y reduce el tiempo que cada trabajo permanece en el taller, acortándose o eliminándose de esta manera las filas de espera. En la Figura 12 se pueden apreciar los flujos de producción en un taller antes y después de realizar una distribución de células de tecnologías de grupo.

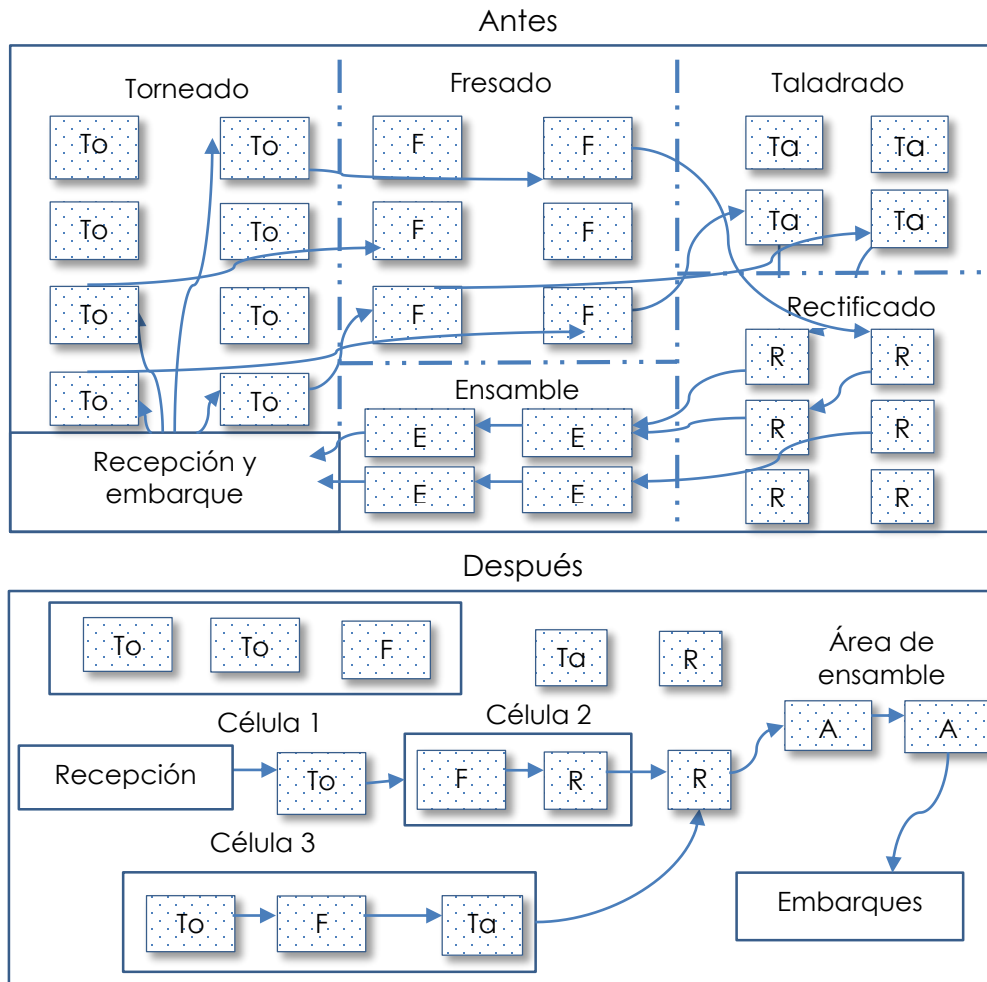


Figura 12. Distribución por células de tecnologías de grupo [26].

A manera de resumen en la Tabla 2, se muestran las características de los cuatro tipos de proceso que se explicaron anteriormente donde dependiendo del factor a valorar, se pueden observar las diferencias y/o ventajas que existen entre ellos.



Tabla 2. Características entre diferentes tipos de proceso [31].

| Factor a valorar         | Por producto  | Por proceso  | Posición fija   | Hibrido  |
|--------------------------|---|--|---|--|
| Producto                 | *Productos estándar<br>*Altos volúmenes de producción<br>*Demanda estable                     | *Varios productos con operaciones comunes<br>*Volumen de producción variable<br>Demanda variable | *Bajo pedido<br>*Bajo volumen de producción                                   | *Series pequeñas y medianas (lotes)<br>*Flexibilidad |
| Líneas flujo de material | *Procesos Lineales<br>*Secuencias Iguales para todos los productos                            | *Líneas entremezcladas retorcidas  | *No definidas<br>*Material estático   | *Cortas y sencillas                                  |
| Nivel de habilidad       | *Rutinario y repetitivo<br>*Especializado   | *Intermedio  | *Gran flexibilidad<br>*Mucha habilidad  | *No hace falta trabajadores                          |
| Necesidad de personal    | *Gran Cantidad<br>*Planificación de material-operarios<br>*Trabajo de control y mantenimiento | *Personal de planificación, manejo de materiales, producción y control de inventarios            | *Para programación y coordinación   | *Prácticamente nula y solo supervisión.              |
| Manejo de materiales     | *Predecible<br>*Flujo sistemático y automatizable.  | *Flujo variable<br>*Sistemas de manejo duplicados.   | *Flujo variable<br>*Equipos de manejo generales                               | *Síncrono, totalmente automático                     |
| Inventarios              | *Mucha rotación de materiales, inventarios reducidos  | *Demasiado trabajo en curso  | *Variables, continuas modificaciones.   | * Rotación de materiales e Inventarios reducidos     |
| Uso de espacios          | *Eficiente  | *Poco efectivo<br>*Demasiado requerimiento por trabajo en curso                                  | *Baja producción por unidad de espacio  | *Muy efectiva  |
| Inversión                | *Elevada en equipos especializados  | *Equipos y procesos flexibles  | *Equipos y procesos móviles de propósito general                              |  |
| Costo del producto       | *Costos fijos elevados<br>*Costos variable bajos (mano de obra y materiales)                  | *Costos fijos bajos<br>*Costos variables elevados (material y transporte)                        | *Costos fijos bajos<br>*Costos variables elevados (mano de obra y materiales) | *Costos fijos elevados<br>*Costos variables bajos    |

Según lo expuesto anteriormente, se puede resumir que el flujo del proceso productivo es un factor crítico en la selección del tipo de distribución de planta. Las cuatro formas básicas de distribución de proceso se ilustran en la Figura 13, atendiendo los criterios de volumen de producción (cantidad de unidades a producir) y variedad de producto (cantidad de referencias manejadas).

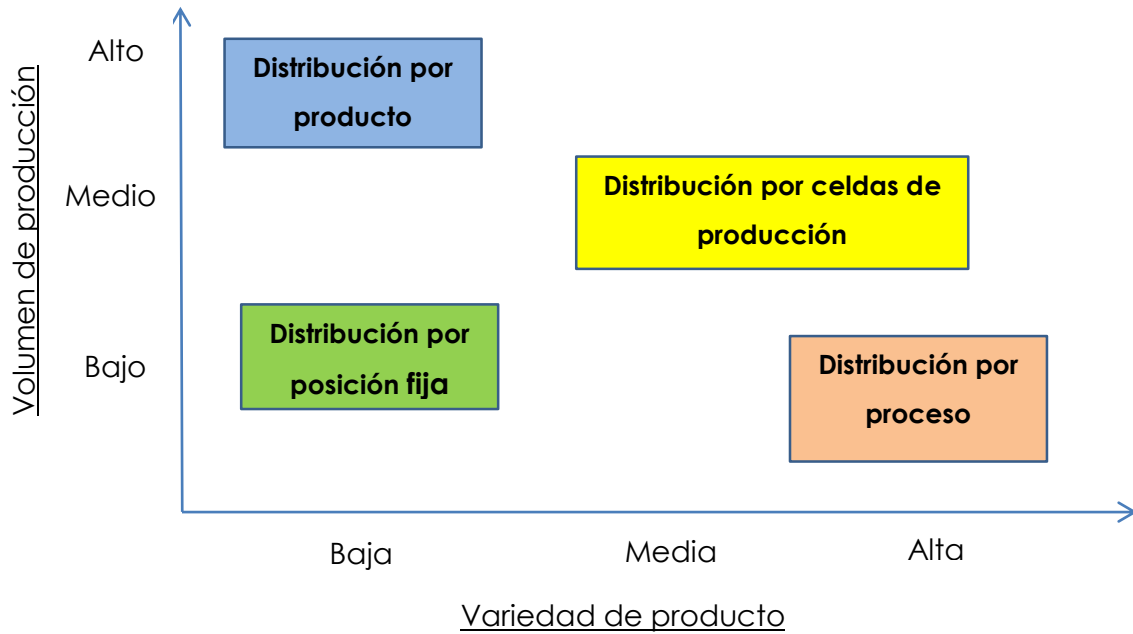


Figura 13. Tipos de distribución de acuerdo a la relación volumen-variedad [27].

#### 2.2.1.5 Tipos de flujos de procesos

Estos tratan la circulación dependiendo de la forma física del local, planta o taller con el que se cuenta. En las Figuras 14, 15, 16 y 17 se presentan en forma esquemática los diferentes flujos de procesos utilizados en la industria según el autor [29].

##### a) Flujo en línea

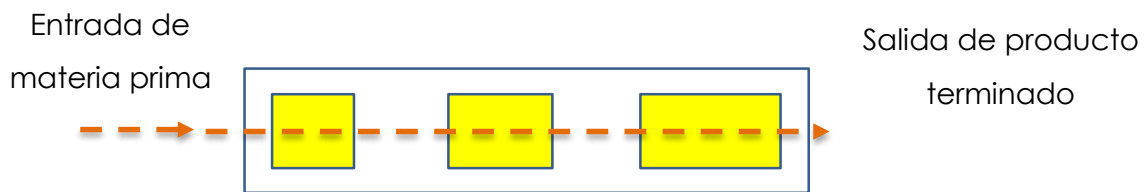


Figura 14. Flujo en línea [29].

## b) Flujo en "L"

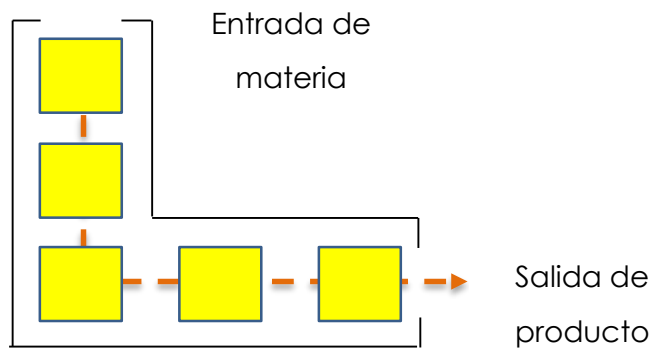


Figura 15. Flujo en "L" [29].

## c) Flujo en "U"

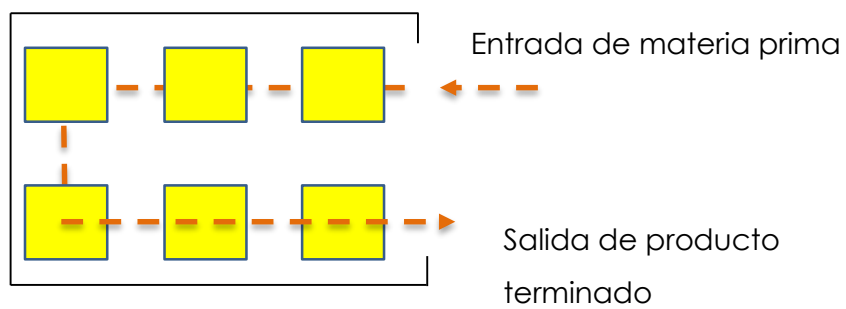


Figura 16. Flujo en "U" [29].

## d) Flujo en "S"

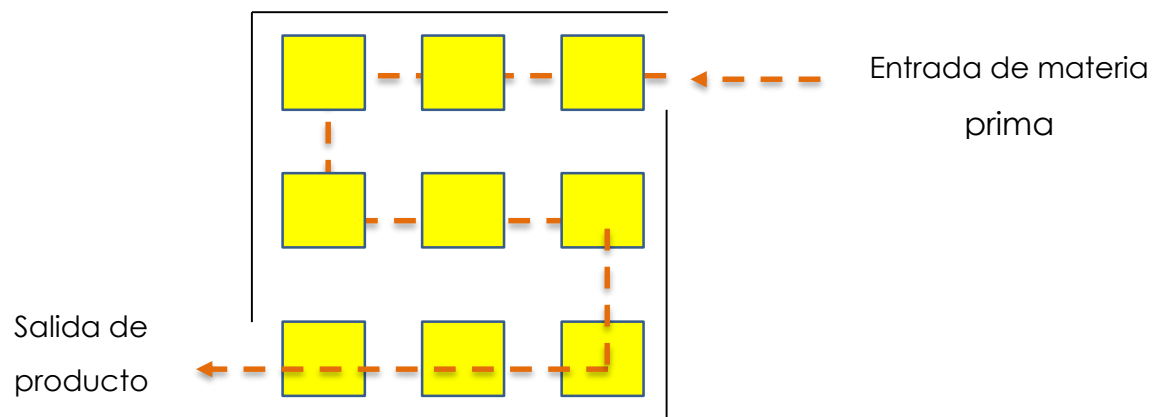


Figura 17. Flujo en "S" [29].

La referencia [29] hace notar que todos los esfuerzos son en vano si no se corrigen los problemas de orden general "más allá de las técnicas de distribución se debe saber mantener un orden". La mejor forma de aplicar estos conceptos y moldearlos a las necesidades, es teniendo en cuenta que "debe haber un lugar para cada cosa y que cada cosa esté en su lugar."

#### 2.2.1.6 Clasificación de distribución de planta de acuerdo a su origen

El proyecto de implantación de una distribución de planta es un problema que no aparece únicamente en las plantas industriales de nueva creación. Durante el transcurso de la vida de una determinada planta, surgen cambios o desajustes que pueden hacer necesario desde reestructuraciones menores (reordenación de las actividades, cambios en los sistemas de manutención, cambios en cualquier tipo de servicio auxiliar etc.) hasta el traslado a una nueva instalación.

De acuerdo con lo anterior, la referencia [1] realiza una clasificación del problema de distribución de planta de acuerdo a su origen:

Tipo 1: Proyecto de una planta completamente nueva. Este caso se da fundamentalmente con la creación de la propia empresa, cuando esta inicia la producción de un nuevo tipo de producto o cuando se expande trasladándose a una nueva área.

Tipo 2: Expansión o traslado a una planta ya existente: En este caso el proyectista debe afrontar el problema desde una perspectiva diferente; deberá adaptar una estructura organizativa, un proceso y unos medios productivos ya existentes a las características de un edificio industrial y unos servicios ya determinados.

Tipo 3: Reordenación de una planta ya existente: El proyectista se enfrenta ahora a las mismas restricciones existentes durante la generación de la distribución original, forma del edificio, dimensiones e instalaciones. En este caso se tratara de utilizar al máximo los elementos ya existentes, compatibilizándolos con los nuevos medios y métodos a introducir.

Tipo 4: Ajustes menores en distribuciones ya existentes. El proyectista debe tratar de resolver el problema sin cambiar de manera significativa la distribución de conjunto interrumpiendo solo lo imprescindible del proceso y realizando los ajustes mínimos necesarios. Este tipo de problema se da fundamentalmente cuando varían las condiciones de operación debido a variaciones en el diseño de las piezas producidas, a reajustes del volumen de producción o a cambios en la maquinaria o en los equipos, que en general pueden implicar un reajuste en las áreas de trabajo requeridas, del personal o del emplazamiento de la maquinaria y sistemas de manutención.

En la Figura 18, se indica en forma esquemática las causas que originan los cambios en la distribución de planta.

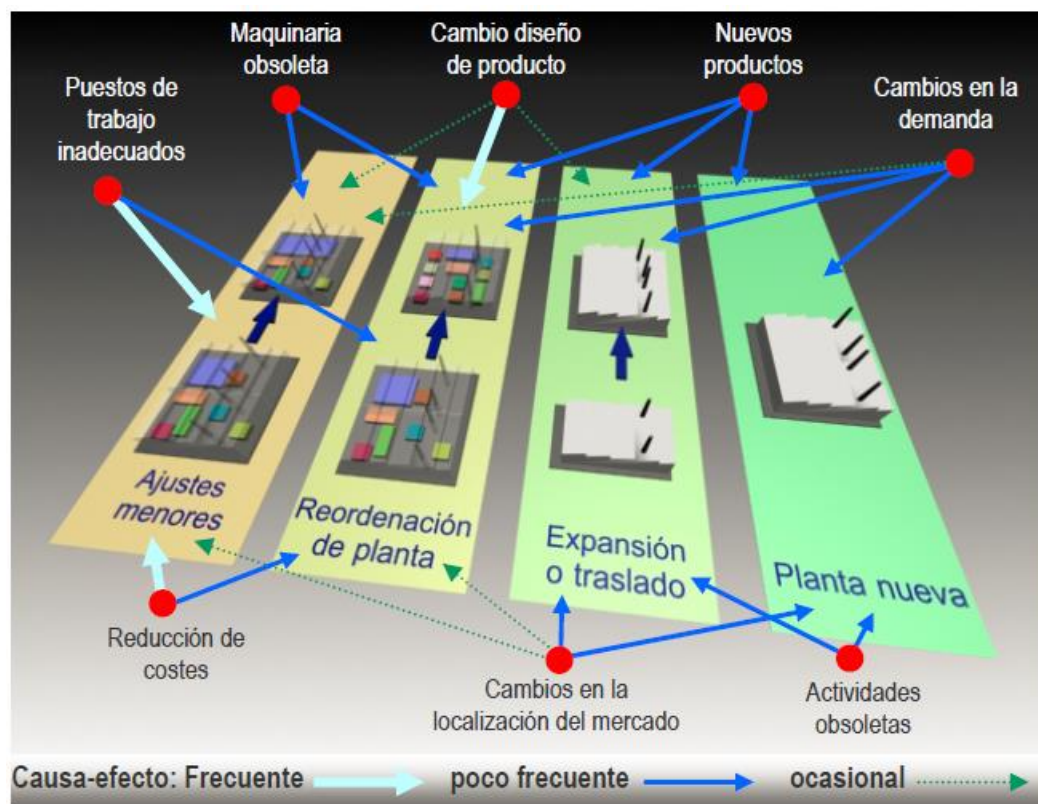


Figura 18. Tipos de problema de distribución y causas más frecuentes [1].

### 2.2.2 Software CAD-2D y 3D

Autodesk AutoCAD es un programa informático de dibujo asistido por computadora, para realizar dibujos en dos y tres dimensiones. AutoCAD gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica en la que se muestran éstas; es el llamado editor de dibujo. La interacción del usuario se realiza a través de comandos, de edición o dibujo, desde la línea de órdenes o barra de comandos, a la que el programa está fundamentalmente orientado. Sin embargo, también existen barras de herramientas localizadas en menús desplegables, donde podemos encontrar las órdenes de manera más visual e intuitiva. AutoCAD, utiliza el concepto de espacio modelo y espacio papel para separar las fases dibujo en 2D y 3D, para obtener planos trazados en papel a su correspondiente escala [32].

La referencia [20] utiliza esta técnica para la elaboración de los Layouts en 2D, el cual es posteriormente exportado para poder simular en un sistema RV. Por otro lado, el autor [24] utiliza este software para realizar los planos en 3D, y así tener una mejor visión de cómo serán las instalaciones proyectadas.

### 2.2.3 Ingeniería de planta

De acuerdo a la referencia [33], la Ingeniería de Planta se ocupa del diseño, especificación y mantenimiento de los edificios, equipos e instalaciones de servicio necesarias para fabricación de un producto, además agrupa las siguientes subfunciones:

1. Diseño y operación de servicios: dedicada a evaluar, proyectar, recibir y operar los diferentes servicios: energía eléctrica, aire comprimido, fuerza motriz etc.
2. Diseño y especificación de instalaciones: Toma a su cargo la evaluación y recepción de los equipos, maquinaria, equipos de oficina etc.
3. Mantenimiento: Se dedica a la conservación de equipo de producción, para asegurar que éste se encuentre constantemente en operación y por el mayor tiempo posible, además en óptimas condiciones de confiabilidad y que sea seguro de operar. La función del mantenimiento ha sido históricamente considerada como un

costo necesario en los negocios. Sin embargo, al paso del tiempo nuevas tecnologías y prácticas innovadoras están colocando a la función del mantenimiento como una parte integral de la productividad total. Las técnicas modernas de mantenimiento y su sentido práctico tienen el potencial para incrementar en forma significativa las ventajas en el mercado global.

#### **2.2.4 Puntos de seguridad y aspectos ambientales**

Referido al aspecto de seguridad y al ambiental, la referencia [34] considera el aspecto de seguridad en la distribución de planta de cualquier centro de trabajo, tomando en cuenta factores tales como el entorno ambiental, luminosidad, ventilación, niveles de ruido, vibraciones, temperatura, etc.

Se deberán evaluar igualmente los riesgos físicos y químicos, adecuando medidas preventivas requeridas para la seguridad del personal y de la empresa. El temor a un posible accidente hace que los trabajadores se sientan incómodos en su puesto.

Las condiciones de seguridad a tener en cuenta son las siguientes:

- a) Que el suelo se encuentre libre de obstrucciones y que no sea deslizante.
- b) No situar operarios demasiado cerca de las partes móviles de las máquinas que no estén debidamente resguardadas.
- c) Que ningún trabajador esté situado encima o debajo de alguna zona peligrosa.
- d) Accesos adecuados y salidas de emergencia bien señalizadas.
- e) Elementos de primeros auxilios y extintores de fuego, cercanos a las áreas.
- f) Evitar en las áreas de trabajo y zonas de paso, materiales puntiagudos y cortantes.

Además de lo anterior, se deberá dar cumplimiento a la normatividad mexicana referente a la seguridad y medio ambiente, las cuales se mencionan a continuación:

- NOM-001-SEDE-2012 [2]: La Instalación eléctrica de fuerza y alumbrado deberá cumplir con la esta norma para tener una instalación segura y eficiente.

- NOM-006-STPS-2000 [8]: La nueva línea de producción deberá contener un área de almacenes, equipos para manejo de materiales y líneas de grúas las cuales deberán cumplir con aspectos de seguridad marcados en esta norma.
- NOM-020-STPS-2011 [6]: La selección de los recipientes sujetos a presión contenidos en esta Línea deberán cumplir con lo que indica la STPS para su operación.
- NOM-004-STPS-1999 [13]: La maquinaria seleccionada deberá contener dispositivos de seguridad que protejan al trabajador de accidentes de trabajo.
- NOM-026-STPS-1994 [7]: Toda la instalación de la tubería deberá cumplir con el código de colores y señalización contenidos en esta norma.
- NOM-001-STPS-2008 [9]: Referente a todas las condiciones de seguridad en los centros de trabajo.
- NOM-025-STPS-2008 [4]: Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Secretaria del Trabajo y Previsión Social.
- NOM-022-STPS-2008 [5]: Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad.
- NOM-002-SECRE-2010 [10]: Se refiere a las instalaciones de gas natural.
- NOM-029-STPS-2011 [3]: Referente al mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo.
- NOM-044-SEMARNAT-2006 [14]: Establece los límites permisibles de emisión de hidrocarburos totales de autobuses nuevos.

## 2.3 VIABILIDAD COMERCIAL

La viabilidad comercial de cualquier producto indica si el mercado es o no sensible al bien producido por el proyecto y la aceptabilidad que tendría en su consumo, permitiendo así determinar la postergación o el rechazo de un proyecto, sin tener que asumir los costos que implica un estudio completo [35].

Para realizar este proyecto se analiza la demanda del tipo de autobuses que se producirán en esta planta de ensamble, además de la importancia y ventajas que se tiene con este tipo de sistema de transporte.

Se comienza con el modelo Linner 12; Se obtuvieron datos del "reporte nacional de movilidad urbana en México 2014-2015" de la referencia [36] donde se puede observar



el incremento en el uso del transporte masivo de pasajeros de este tipo en todo el país (pág. 38 de referencia [36]).

Sistemas integrados de transporte público masivo: A pesar de las inversiones en vialidades que se han realizado, el deterioro de la movilidad urbana origino que muchas ciudades (principalmente de países desarrollados) optaran hacia soluciones de movilidad integral sustentable cuyo tronco fuera el transporte masivo de calidad, flexible y amigable con el ambiente.

En México, las iniciativas para mejorar la movilidad urbana, empezaron en las grandes metrópolis y ciudades, tomando como referencia los modelos impulsados a nivel internacional, basados en una movilidad urbana sustentable que integra los sistemas de transporte público urbano masivo, con el desarrollo urbano y las políticas de infraestructura vial para:

- Avanzar en la modernización tecnológica y administrativa de los sistemas integrados de transporte.
- Hacer uso racional de la infraestructura vial y de los recursos públicos.
- Disminuir los costos sociales y medioambientales.
- Liberar espacios para el encuentro y convivencia ciudadana.
- Generar cambios culturales e institucionales a favor de un transporte público de calidad.

A partir de esta visión de movilidad urbana sustentable, las metrópolis de más de un millón de habitantes canalizaron inversiones para la planeación y construcción de sistemas de transporte urbano masivo tipo autobuses rápidos troncales (Bus Rapid Transit, BRT), trenes ligeros y tranvías suburbanos.

El avance ha sido rápido en estos últimos años, en 10 zonas de más de 500 mil habitantes se iniciaron o consolidaron la operación de sistemas de autobuses rápidos troncales y en menor medida de metro y tren ligero (ver anexo 1) y en otras 16 zonas se encuentran en fase de construcción, planeación o de estudio de factibilidad.

Sin embargo, aún son pocas las ciudades en México que a la fecha operan con estos sistemas y su participación en el número de viajes es todavía baja, por ejemplo en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

El 8% de los viajes se realiza en metro, trolebús y autobús tipo urbano, lo que da cuenta de su potencial; existen casos como el de la zona metropolitana de León, Guanajuato, donde abarcan el 65% de los viajes. Estos sistemas promueven la interconectividad y

transbordos con un solo pago, el uso de esquemas de prepago que facilitan la labor del conductor y cuentan con mayor transparencia, accesibilidad y seguridad.

Adicionalmente, en algunas ciudades ha permeado la importancia de consolidar proyectos, para la incorporación del transporte no motorizado como redes de ciclo vías seguras y vías peatonales.

En el Anexo 1, se presenta el modo de transporte en las zonas metropolitanas y ciudades de más de 500 mil habitantes [36], del cual se puede observar que existe un gran potencial de crecimiento de este tipo de transporte, por lo que el modelo Linner 12 destinado a este tipo de transporte (BRT), puede tener una gran demanda en un futuro inmediato.

Pasando al otro autobús a construir en esta línea de producción, el modelo Buller, Dina Camiones proyecta regresar al mercado de los autobuses foráneos de pasajeros, esta unidad es del tipo de transporte de grandes recorridos con gran comodidad y seguridad. A continuación se muestran en las Tablas 3 y 4, los volúmenes de ventas globales que se tuvieron en el segmento de autobuses foráneos en el periodo del 2008 al 2015 obtenido de reportes de ventas de la Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones (ANPACT) [37]. Donde se puede observar la constante de los niveles de producción, aunque en el año 2009 estuvieron los niveles de producción por debajo de la media, los otros años se conservan en niveles de producción aceptables.

Tabla 3. Volumen de ventas totales de vehículos automotores por mercado y tipo de vehículo serie anual de 2008 a 2013 [37].

| Mercado<br>Tipo de Vehículo | 2008         | 2009       | 2010         | 2011         | 2012         | 2013         |
|-----------------------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Total                       | 2,769,180    | 2,026,376  | 2,789,872    | 3,192,929    | 3,509,322    | 3,620,872    |
| Mercado nacional            | 1,071,036    | 749,229    | 871,352      | 953,581      | 1,057,084    | 1,108,236    |
| Automóviles                 | 583,027      | 424,264    | 523,132      | 605,922      | 674,508      | 702,077      |
| Camiones ligeros            | 435,684      | 303,403    | 318,158      | 315,067      | 343,111      | 368,540      |
| Camiones pesados            | 25,747       | 12,199     | 16,444       | 14,613       | 17,083       | 14,947       |
| Tractocamiones 5a rueda     | 14,400       | 3,563      | 7,565        | 10,850       | 15,109       | 15,049       |
| Segmento construcción       | 881          | 215        | 344          | ND           | ND           | ND           |
| <b>Autobuses foráneos</b>   | <b>2,024</b> | <b>855</b> | <b>1,074</b> | <b>1,582</b> | <b>1,303</b> | <b>1,686</b> |

|                    |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Chasis para pasaje | 9,273 | 4,730 | 4,635 | 5,547 | 5,970 | 5,937 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

Tabla 4. Volumen de ventas de autobuses foráneos en México, 2008-2015 [38].

| Año               | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Unidades vendidas | 2024 | 855  | 1074 | 1582 | 1303 | 1686 | 1650 | 1179 |

Para ingresar a este segmento Dina Camiones proyecta ir de niveles de 50 unidades de producción anual y paulatinamente ir creciendo los niveles de producción en un 50% cada año, hasta alcanzar un 20% de participación en el mercado de ventas globales, que serían 200 unidades producidas anualmente en promedio hacia el año 2020.

Después de analizar las ventas globales de ambos sectores de los autobuses y la proyección de producción de estos dos modelos a producirse en esta planta, se puede concluir que esta línea de ensamble es necesaria para que Dina Camiones pueda ingresar al mercado de este tipo de autobuses.

## 2.4 METODOLOGÍA

Existen diferentes metodologías para realizar una buena distribución de planta, tales como: CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Techniques", ALDEP (Automated Layout Design Program), CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning) ; Para el presente proyecto de investigación se hará uso de la metodología Systematic Layout Planning (SLP) planteada por [1], la cual es ampliamente aceptada por la industria manufacturera y es acorde con el tipo de proyecto del presente trabajo.

### 2.4.1 Metodología Systematic Layout Planning (SLP)

La aportación dada por [39] hace mención que los intentos por establecer una metodología que permitiera afrontar el problema de la distribución en planta de manera ordenada, comienzan en los años cincuenta del siglo pasado. Sin embargo, fue [1] el

primero en desarrollar en 1961 un procedimiento verdaderamente sistemático (SLP," Systematic Layout Planning"), que establece una metodología aplicable a la resolución de problema independientemente de su naturaleza. Los métodos precedentes al SLP son simples e incompletos si se considera el problema de distribución de planta con un mínimo de su complejidad, sin embargo, es necesario analizarlas desde su contexto.

#### 2.4.1.1 Descripción de la Metodología SLP

La metodología SLP desarrollada por [1] es un procedimiento sistemático, multicriterio y sencillo, para la solución de problemas de distribución de planta de procesos productivos diversos. Este método se aplica a problemas de distribución de planta de instalaciones industriales, comercio y hospitales. En este método se indican una serie de fases y técnicas que permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implantación y la relación que existe entre ellos.

La metodología SLP se asienta sobre la base de la información referente al problema a resolver para que, a través de un proceso de cuatro etapas, se obtenga una distribución válida como solución al problema planteado. Además de las relaciones entre los diferentes departamentos, cinco tipos de datos son necesarios:

1. Producto (P): Considerándose aquí producto también a los materiales, materia prima, piezas adquiridas a terceros, producto en proceso y producto terminado.
2. Cantidad (Q): Definida como la cantidad del producto tratado, transformado, transportado o utilizado en el proceso.
3. Recorrido (R): Entendiéndose el recorrido como la secuencia y el orden de las operaciones a las que deben someterse los productos.
4. Servicios (S): Los servicios auxiliares de producción, servicios para el personal etc.
5. Tiempo (T): Utilizado como unidad de medida para determinar las cantidades de producto o material, dado que estos se miden habitualmente en unidades de masa o volumen por unidad de tiempo.

Esta información es base para tener una buena solución al problema de distribución de planta, por lo que los datos recopilados son de suma importancia.

Habiendo recopilado los cinco datos anteriores, enseguida deberán describirse las cinco etapas que comprende a la metodología SLP:

1. Análisis Producto-Cantidad (P-Q): El análisis de la información referente a los productos y cantidades a producir es el punto de partida del método. A partir de este análisis es posible determinar el tipo de distribución adecuado para el proceso objeto de estudio. El autor [1] recomienda la elaboración de una gráfica en forma de histograma de frecuencias, en la que se representen en las abscisas los diferentes productos a elaborar y en las ordenadas las cantidades de cada uno. Los productos deben ser representados en la gráfica en orden decreciente de la cantidad producida. En función del tipo de histograma resultante es recomendable la implantación de un tipo u otro de distribución. En el caso a) de la Figura 19 en el que se produce una única unidad de un único producto, la distribución adecuada e inevitable es de posición fija suponiendo que se trata de un proyecto de gran envergadura. La grafica b) hace recomendable una distribución en cadena. Este tipo de graficas en las que pocos productos ocupan la mayor parte de la producción (principio de Pareto), indican series largas de producción homogénea, lo que hace recomendable distribuciones orientadas al producto. La existencia de gran diversidad de productos con niveles de producción similares c), aconsejarían una distribución de mayor flexibilidad orientada al proceso. Por último, situaciones como la señalada en la gráfica (d), pueden afrontarse con distribuciones mixtas, buscando la máxima flexibilidad y eficiencia, por ejemplo, con células de fabricación flexible [39].

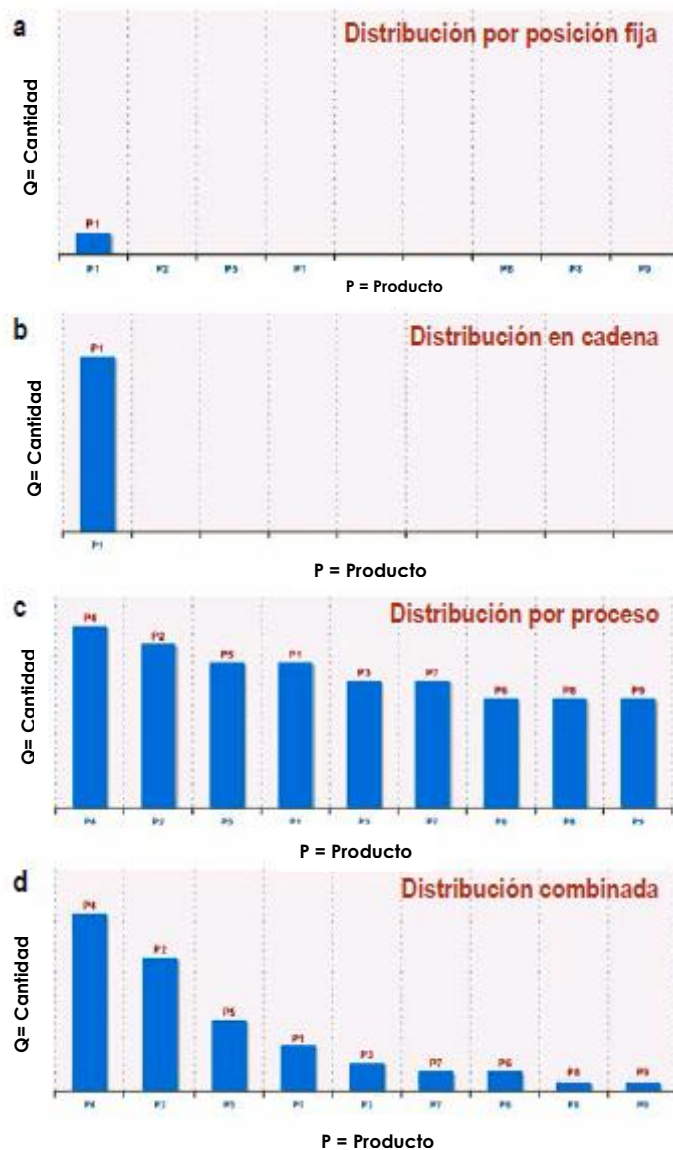


Figura 19. Graficas P-Q habituales de cada tipo de distribución de planta [39].

2. Análisis del recorrido de los productos: En esta fase se determina la secuencia, la cantidad y el coste de los movimientos de los productos por las diferentes operaciones durante su proceso. A partir de la información del proceso productivo y de los volúmenes de producción, se elaboran gráficas y diagramas descriptivos del flujo de materiales. Estos pueden ser principalmente de tres tipos:

- a) Diagrama de recorrido sencillo: Se utilizan cuando se producen muy pocos productos (o uno solo) en cantidades pequeñas, en los que quedan reflejados con exactitud los recorridos de cada producto por cada proceso.
- b) Diagramas multiproducto: Estos son adecuados cuando se producen pocos productos, en ellos se indica únicamente la secuencia de operaciones a la que se somete cada pieza o producto.
- c) Tablas matriciales: Se emplean en el caso de producir gran cantidad de productos. Esta representación es una matriz cuadrada en la que tanto en filas como en columnas figuran las diferentes operaciones del proceso productivo. En las casillas se indica el número de veces que un producto circula desde la operación fila a la operación columna.

3. Análisis de relaciones entre actividades: Conocido el recorrido de los productos, el proyectista debe plantearse el tipo y la intensidad de las interacciones existentes entre las diferentes actividades productivas, los medios auxiliares, los sistemas de manutención y los diferentes servicios de la planta. Estas relaciones no se limitan a la circulación de materiales, pudiendo ser esta irrelevante o incluso inexistente entre determinadas actividades: por ejemplo, no suele existir circulación entre los medios auxiliares de producción. La no existencia de flujo de material entre dos actividades no implica que no pueda existir otro tipo de relaciones que determinen, por ejemplo, la necesidad de proximidad entre ellas; o que las características de determinado proceso requieran una determinada posición en relación a un determinado servicio auxiliar. En otros aspectos, el proyectista debe considerar en esta etapa las exigencias constructivas, ambientales, de seguridad e higiene, los sistemas de manutención necesarios, el abastecimiento de energía y la evacuación de residuos, la organización de la mano de obra, los sistemas de control de proceso, los sistemas de información. Esta información resulta de vital importancia para poder integrar los medios auxiliares de producción en la distribución de una manera racional. Para poder representar las relaciones encontradas de una manera lógica y que permita clasificar la intensidad de dichas relaciones, se emplea la tabla relacional de actividades (ver Figura 21), consistente en un cuadro organizado en diagonal en el que quedan plasmadas las necesidades de proximidad entre cada actividad y las restantes desde diversos

puntos de vista. Es habitual expresar estas necesidades en la práctica mediante el código de seis letras representados en la Figura 20. El análisis de recorridos expuesto en el apartado anterior se emplea para relacionar las actividades directamente implicadas en el sistema productivo, mientras que la tabla relacional permite integrar los medios auxiliares de producción.

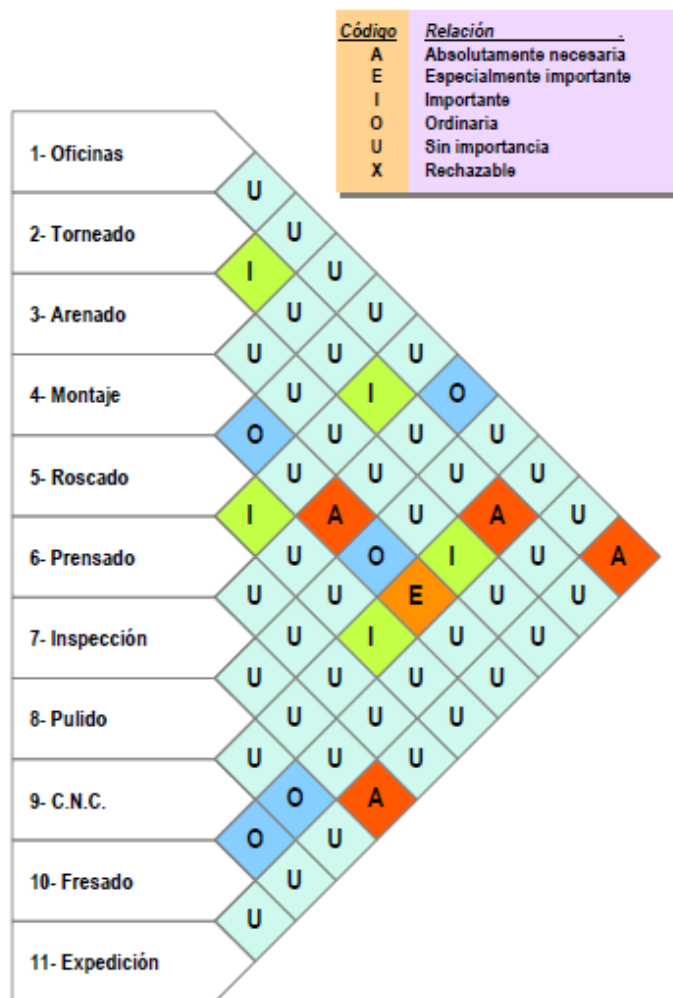


Figura 20. Tabla relacional de actividades [39].

4. Diagrama relacional de recorridos y/o actividades: La información recogida hasta el momento, referente tanto a las relaciones entre las actividades como a la importancia relativa de la proximidad entre ellas, es recogida en un diagrama que [1] denomina diagrama relacional de recorridos y/o actividades, este pretende recoger la ordenación topológica de las actividades en base a la información de





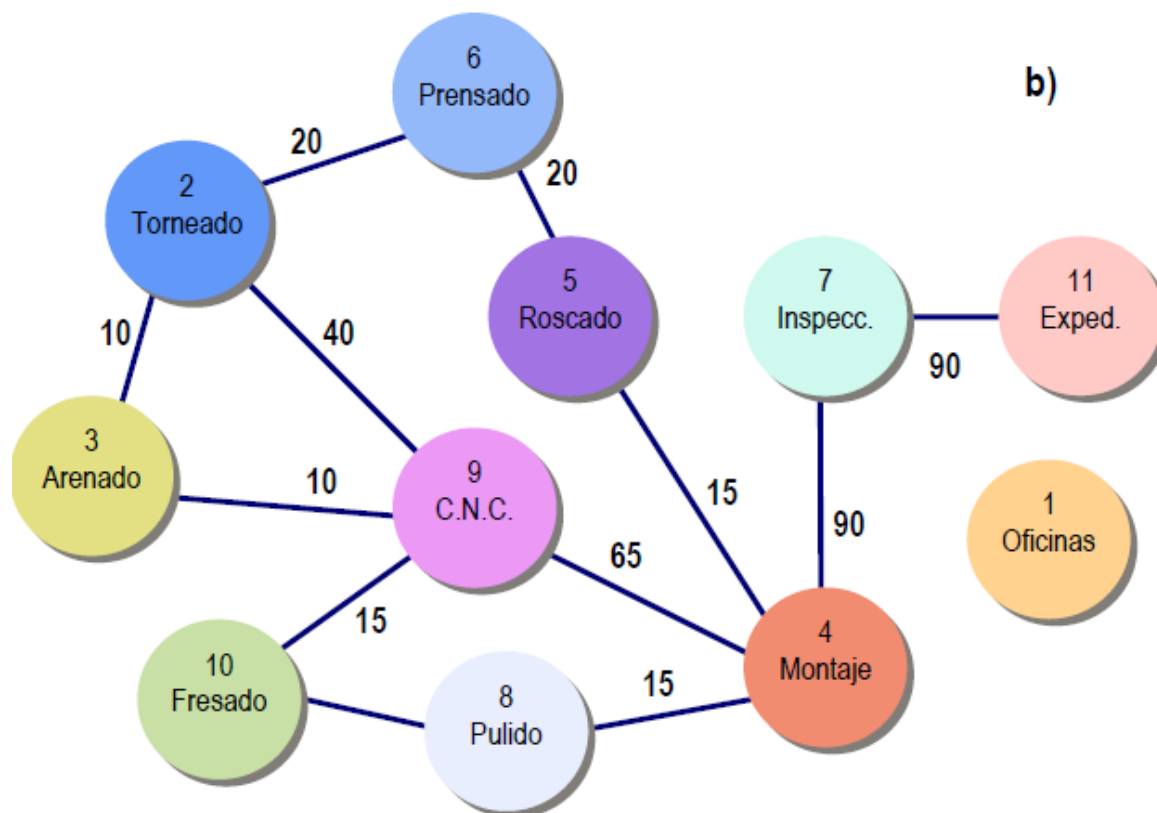


Figura 22. Diagrama relacional de recorridos (b) [39]

5. Diagrama relacional de espacios: La topología del diagrama relacional de recorridos y/o actividades recoge información sobre las necesidades de proximidad y las ubicaciones preferibles de cada actividad. Sin embargo, en dicho grafo los departamentos que deben acoger las actividades son adimensionales y no poseen una forma definida. El presente paso hacia la obtención de alternativas factibles de distribución es la introducción en el proceso de diseño, la información requerida al área que se necesita por cada actividad para su normal desempeño. El proyectista debe hacer una previsión, tanto de la cantidad de la superficie, como de la forma del área destinada a cada actividad.

En este entendido, la referencia [39] menciona que no existe un procedimiento general ideal para el cálculo de las necesidades de espacio. El proyectista debe emplear el método más adecuado al nivel de detalle con el que se está trabajando, dependiendo de la cantidad y exactitud de la información que se posee y a su propia experiencia previa. El espacio requerido por una actividad no depende únicamente de factores

inherentes a sí misma, si no que puede verse condicionado por las características del proceso productivo global, de la gestión de dicho proceso o del mercado. Por ejemplo, el volumen de producción estimado, la variabilidad de la demanda o el tipo de gestión de almacenes previsto pueden afectar al área necesaria para el desarrollo de una actividad. En cualquier caso, hay que considerar que los resultados obtenidos son siempre previsiones, con base más o menos sólida, pero en general con cierto margen de error.

El diagrama relacional de espacios es similar a los diagramas presentados previamente (de actividades y recorridos) con la particularidad de que en este caso los símbolos distintivos de cada actividad son representadas a escala, de forma que el tamaño que ocupa cada uno sea proporcional al área necesaria para el desarrollo de la actividad (ver Figura 23). En estos símbolos es frecuente añadir, además, otro tipo de información referente a la actividad como, por ejemplo, el número de equipos o la planta en la que debe situarse.

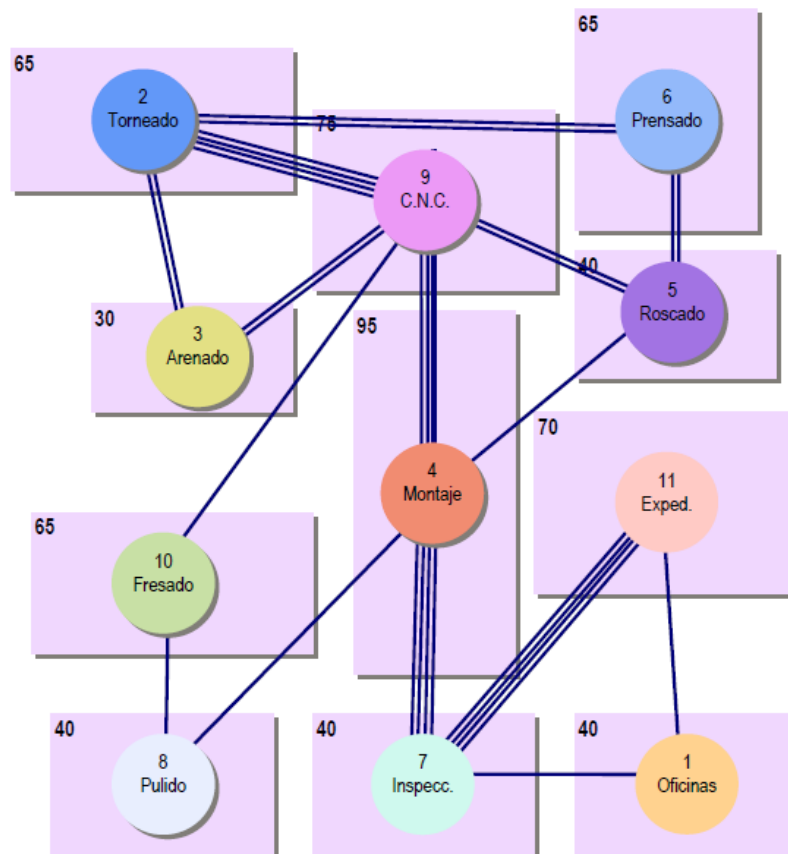


Figura 23. Diagrama relacional de espacios por cada actividad [39].

Con la información incluida en este diagrama se está en disposición de construir un conjunto de distribuciones alternativas que den solución al problema. Se trata de transformar el diagrama ideal en una serie de distribuciones reales, considerando todos los factores condicionantes y limitaciones prácticas que afectan al problema.

Como se muestra en la Figura 24, el SLP finaliza con la implantación de la mejor alternativa tras un proceso de evaluación y selección. El proyectista puede optar por diversas formas de generación de Layouts (desde las manuales hasta las complejas técnicas metaheurísticas) y de evaluación de los mismos.

Las cinco fases y sus relaciones incluidas en la metodología SLP, se muestran de forma esquemática en la Figura 24.

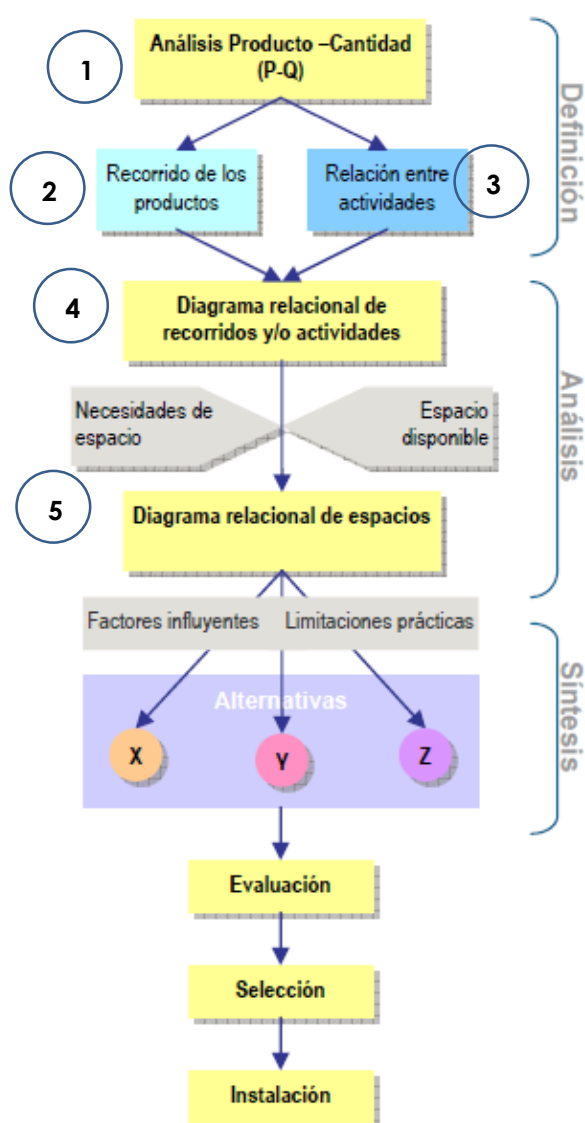


Figura 24. Esquema del SLP [39].

## 2.5 OBSERVACIONES DEL CAPÍTULO

Como podemos observar existe mucha literatura referente a la distribución de planta y la construcción de infraestructura de cualquier sistema productivo, pero cada caso tiene su propio desafío debido a las limitantes que se tienen, tales como espacio, presupuesto, tiempos, etc. y de acuerdo a estos factores cada uno utiliza la metodología que más se adapte al proyecto en cuestión, siempre buscando al final una línea de ensamble lo suficientemente flexible para adaptarse a los retos futuros, derivados de cambios al proceso o ampliaciones de las líneas de producción.

Derivado del análisis de la literatura revisada a continuación, se hace conjeturas respecto a los temas de interés que se abordarán en la presente investigación:

1. La referencia [18] hace énfasis en flexibilidad en los posibles cambios del Layout, debido a que constantemente se cambia el diseño y volúmenes de producción en las líneas de ensamble, tema conveniente a la presente propuesta de investigación.
2. Una parte importante de la investigación aquí mostrada recae en la infraestructura de instalaciones, tal como; la energía eléctrica, aire comprimido, sanitarios, oficinas etc. temas de vital importancia para la referencia [16] por cuestiones de ahorro de energía, así como el cuidado del medio ambiente. Por lo que este trabajo basa su construcción en toda la normatividad aplicable a cada instalación. Otra relación de este trabajo con la referencia [18], recae en la importancia del recorrido de materiales durante el proceso, para evitar retrasos en el surtimiento y elevados costos por transporte de materiales.
3. Factores como luminosidad, ventilación, niveles de ruido, etc., se mencionan por la referencia [34] como importantes a considerar en el tema de distribución de planta. Áreas que son tratados en este proyecto de investigación.
4. Así mismo y de acuerdo a [1], el problema que se tiene en Dina Camiones es del *Tipo 2, expansión o traslado a una planta ya existente*, donde en el presente trabajo se afronta el problema desde una perspectiva diferente. Además se tiene que adaptar la estructura organizativa, el proceso y los medios productivos a las características del edificio industrial y de los servicios ya instalados.
5. En la mayoría de los artículos revisados se hace uso del software CAD-2D y 3D para realizar el Layout. Mismo que es utilizado en este trabajo para proyectar los diferentes

planos en 2D y posteriormente plasmarlos en 3D, con el fin de visualizarlos de manera más realista.

6. Para la ubicación de los servicios auxiliares como es energía eléctrica, se tomará en cuenta las técnicas de ingeniería de planta mostradas en la referencia [33].

Después de haber definido la metodología y herramientas que se utilizaran en este proyecto, en el Capítulo 3 se analizan las instalaciones existentes para poder ubicar la línea de ensamble, definir su tipo de flujo de proceso, diseñar la infraestructura principal, así como los servicios auxiliares y por ultimo seleccionar la maquinaria critica que se utilizaran en esta línea de ensamble.

### 3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACION

---

Para el diseño de la distribución de planta e infraestructura de la nueva línea de producción para los modelos Buller y Linner 12, se procederá de manera ordenada y sistemática de acuerdo a los siguientes cinco puntos:

1. De manera preliminar se hace una revisión de la infraestructura con la que cuenta Dina Camiones para instalar la nueva línea de ensamble, realizando las modificaciones requeridas para su correcto funcionamiento.
2. La distribución de planta se realizará de acuerdo con la metodología SLP dada por [1]. La finalidad es lograr la mejor distribución desde el punto de vista económico, tanto de las áreas de trabajo como de los equipos a instalar, debiendo resultar segura y satisfactoria para los empleados.
3. Para la elaboración de los planos de distribución de la planta, planos eléctricos, planos mecánicos y demás proyectos, se realiza mediante el software de diseño AutoCAD.
4. Referido al sistema eléctrico se toman en cuenta las normas aplicables citadas en: [2], [3], [4], [5], [7].
5. En el diseño de los sistemas mecánicos se toman en cuenta las normas: [6], [7], [8], [9], [10], [11], [13], [14].

### 3.1 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Actualmente se cuenta con una nave industrial (con 20 años de antigüedad) en los terrenos del parque industrial ubicado en Ciudad Sahagún, Hidalgo, México, la cual contiene una superficie de 13,600 m<sup>2</sup> techados, misma que está disponible para construir la línea de producción de autobuses para los modelos Buller y Linner 12, incluyendo almacenes, oficinas y sanitarios. En la Figura 25, se muestra la infraestructura con la que cuenta la nave, como se puede observar, ya se tienen dos módulos de oficinas en el interior y uno en el exterior, un módulo de vestidores y regaderas a los cuales hay que realizar remodelación total para que estén en condiciones de uso, así como dos rampas de descarga y varios accesos laterales a la nave. Cabe mencionar que esta nave no tiene acometida eléctrica ni subestación eléctrica, lo cual es parte del trabajo a realizar en este proyecto. Así mismo no cuenta con red de aire comprimido, red de voz y datos, grúas para movimiento de materiales, que al igual se tomaran en cuenta en el diseño de la infraestructura.

Esta nave tiene alimentación de agua potable con tubería de 50.8 mm de diámetro, la cual abastece a sanitarios y vestidores. Además, se cuenta con una red contra incendio la cual suministra los hidrantes existentes. Esta red de agua proviene de un tanque elevado el cual se localiza fuera de las instalaciones de lo que será la planta de ensamble, por lo que depende de terceros para este suministro.

Se cuenta con una tubería de gas natural de 100 mm de diámetro a una presión de 392.2 kPa, este suministro proviene de una caseta de distribución y medición custodiada por PEMEX, dicha caseta se encuentra en terrenos Dina Camiones, por lo que solo se tiene que realizar pruebas de funcionamiento a la tubería y validar que cumpla con la NOM-002-SECRE-2010 [10] (Capítulos del 5 al 13) para poder utilizar el gas natural en el proceso de pintura y horneado de la cabina de pintura.



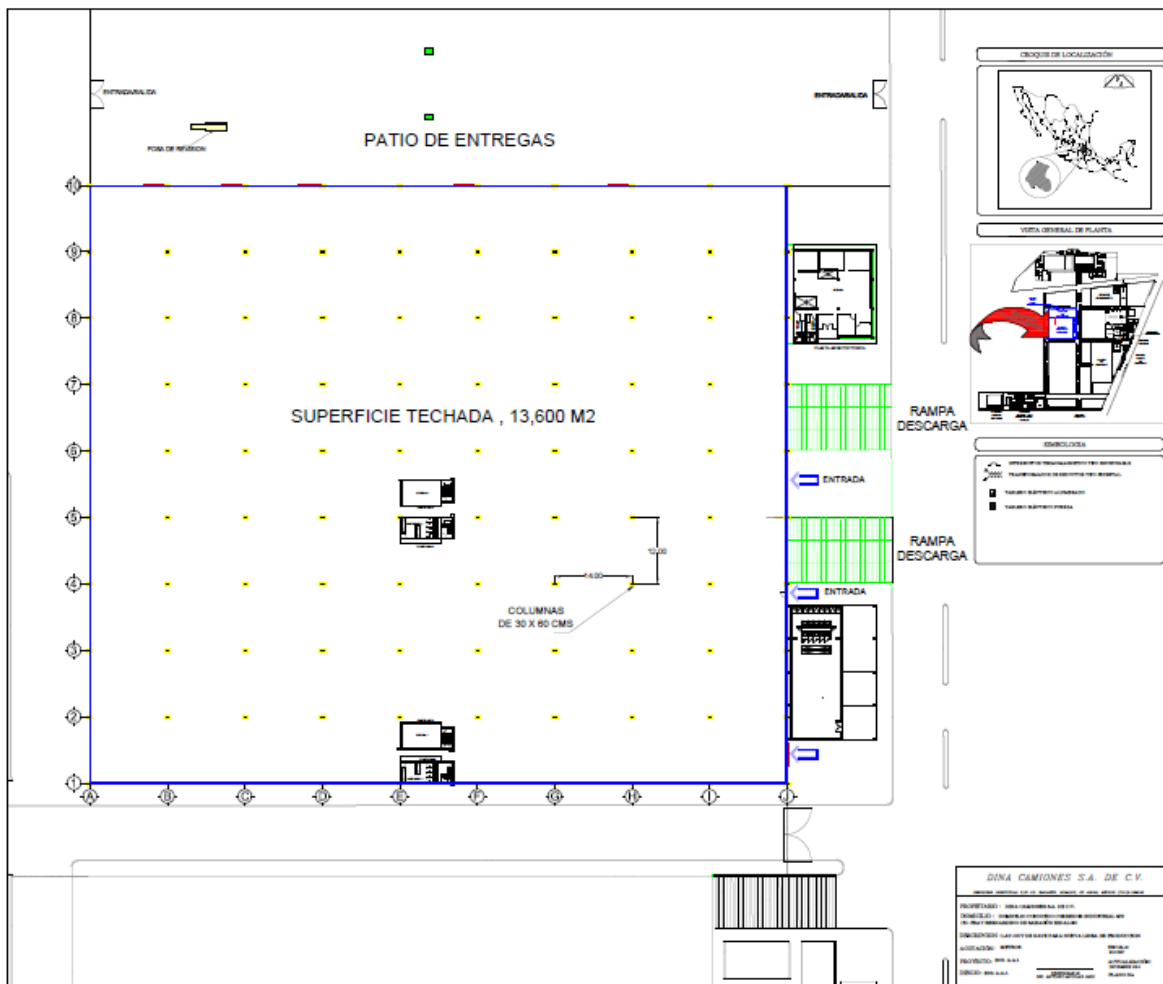


Figura 25. Infraestructura de instalaciones disponible para nueva línea .

### 3.2 REPARACIONES A REALIZAR EN LA NAVE

Por la antigüedad de esta nave industrial (20 años), fue necesario realizar mantenimiento y/o reparaciones mayores a la infraestructura del edificio, para que esta funcione correctamente evitando problemas de operación y seguridad. Por cuestiones de confidencialidad sólo se incluyen planos en AutoCAD de las actividades realizadas, sin incluir imágenes gráficas que contravengan con las políticas de la empresa Dina Camiones.

Las reparaciones que se consideraron necesarias son las siguientes:

- Reparación de Bajadas pluviales.
- Reparación de techumbre.
- Rehabilitación de oficinas y sanitarios.

### 3.2.1. Reparación de bajadas pluviales.

Esta nave cuenta con un sistema de recolección de aguas pluviales muy eficiente, solo que debido al largo tiempo sin darle mantenimiento, se requiere realizar las siguientes reparaciones:

- Limpieza, reparación y sellado de canalones en parte superior.
- Reparación de tubería de fierro colado de las bajadas pluviales (40 piezas).
- Limpieza de registros y drenaje de aguas pluviales (40 piezas).

La Figura 26 muestra la cantidad y ubicación de las bajas pluviales, así como la red de drenaje donde desemboca el afloro pluvial.

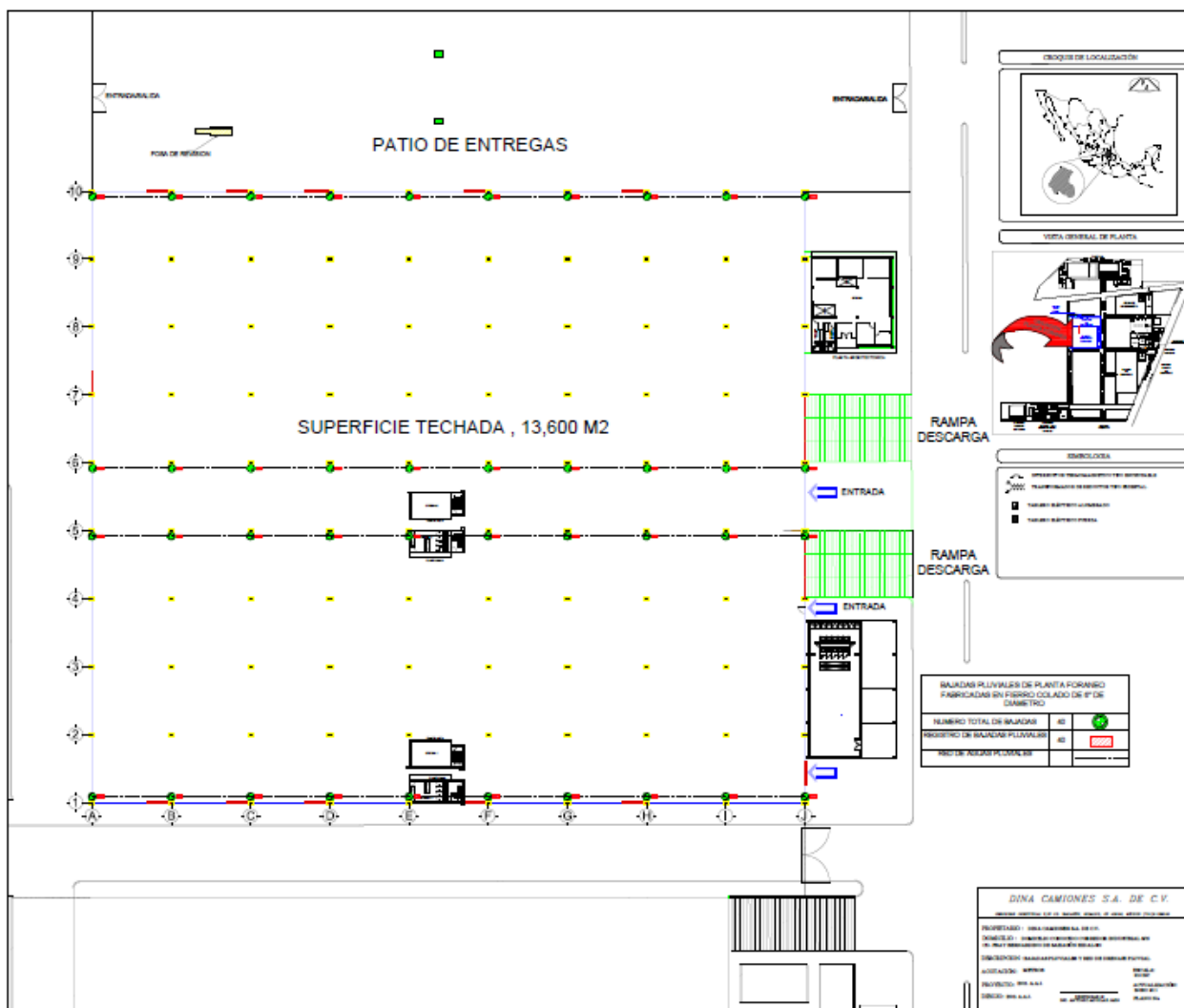


Figura 26. Ubicación de drenaje y bajadas pluviales.

### 3.2.2. Reparación de techumbre

Dadas las condiciones en las que se encuentra la techumbre, se realizaron reparaciones por dos motivos:

- Evitar filtraciones de agua de lluvia, lo cual puede ocasionar daños tanto a materiales que encuentran tanto en almacenes como en el proceso, así como a personal que se encuentra laborando dentro de la nave.
- Mejorar la iluminación dentro de la nave y así cumplir con la normatividad vigente referente a iluminación del centro de trabajo.

En los 13,600 m<sup>2</sup> de techumbre se realizó el cambio de 396 láminas acrílicas con dimensiones de 7.32 m x 1.0 m. La Figura 27, muestra el arreglo y cantidad de láminas acrílicas instaladas en la nave.

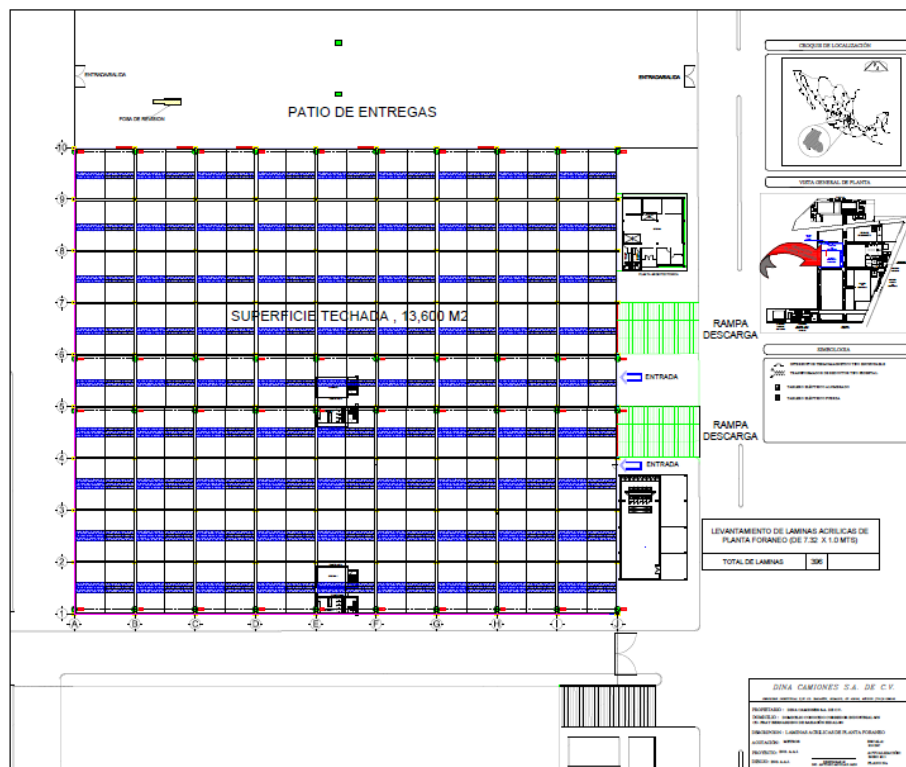


Figura 27. Ubicación de láminas acrílicas en nave.

Con este cambio de láminas acrílicas se cumple con la NOM-025-STPS-2008 [4]. La norma indica que para un área de ensamble se debe tener un mínimo de 500 lx, por otro lado, el área de detallado de pintura debe alcanzar una iluminación de 750 lx. La evaluación de los niveles de iluminación se realizó de acuerdo con el apéndice A de la NOM-025-STPS-2008[4].

### 3.2.3. Reparación de oficinas y sanitarios

Se tienen actualmente dos módulos de oficinas y un módulo de sanitarios-vestidores en el interior de la nave, así mismo un módulo de oficinas en el exterior de la nave, a los que se les realizó un reacondicionamiento mayor debido a su antigüedad.

A continuación, se describen el estado actual y futuro de las oficinas exteriores, vestidores-sanitarios en el interior de la nave, así como el módulo de oficinas y sanitarios interiores, donde se determina la cantidad de personas a las que se puede dar servicio.

#### Oficinas exteriores

Las Figuras 28 y 29 muestran el proyecto de remodelación de las oficinas exteriores, así como su mobiliario a instalar.

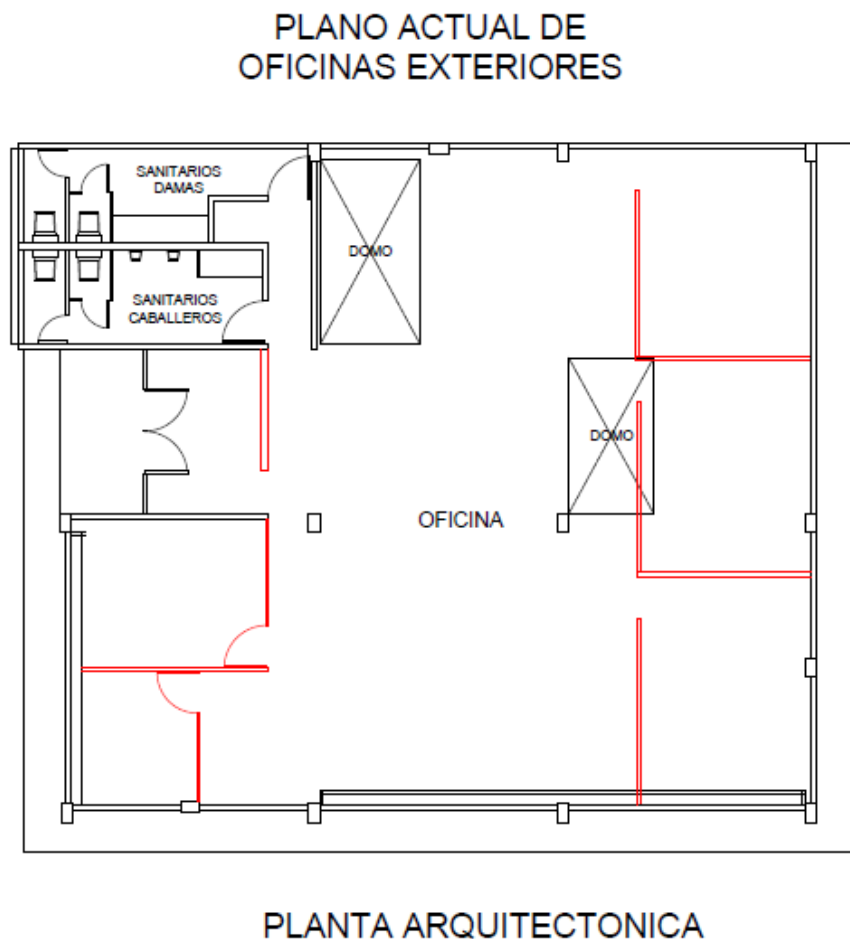
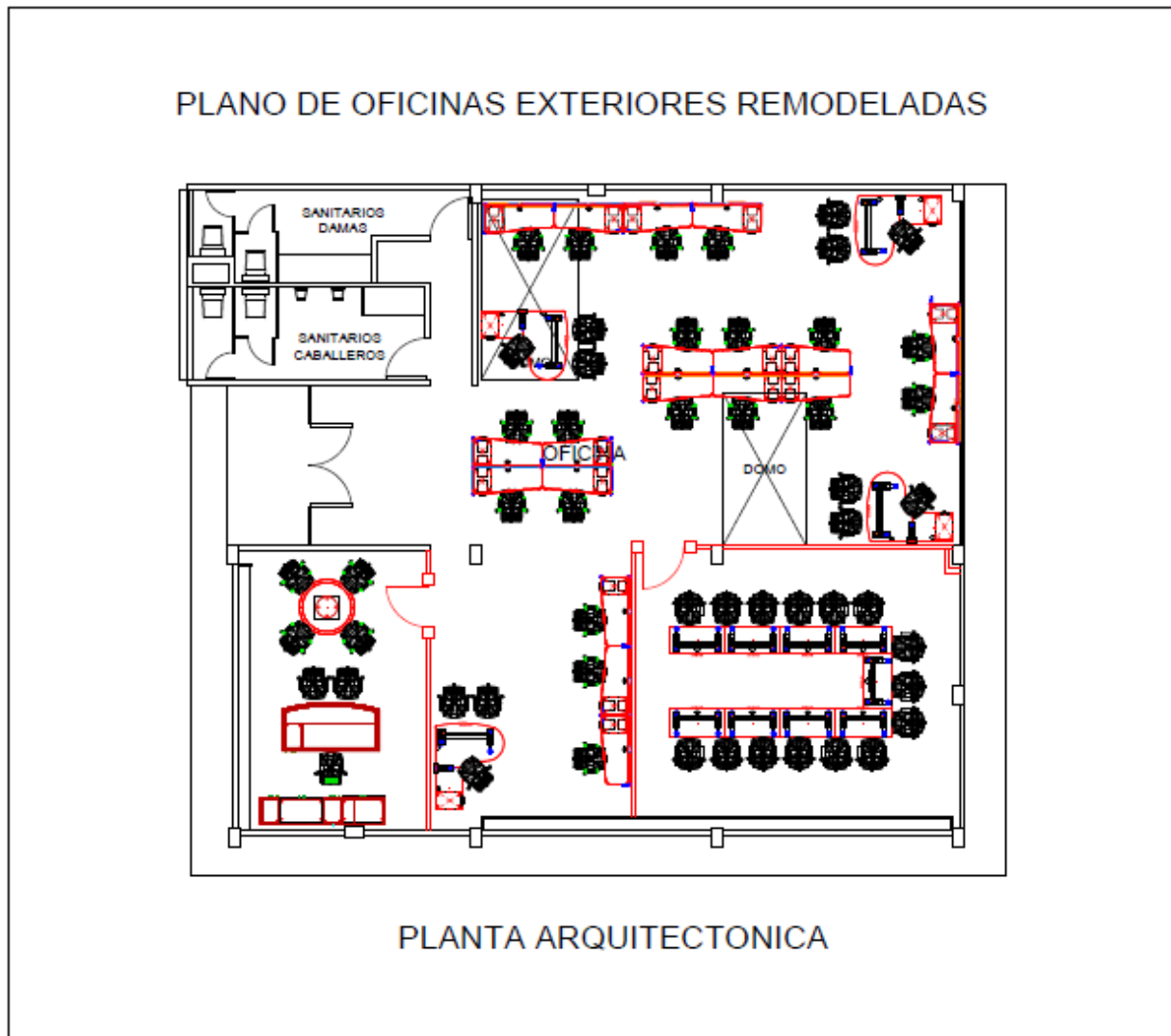


Figura 28. Plano actual de oficinas exteriores.



*Figura 29. Plano de remodelación de oficinas exteriores.*

De acuerdo a las necesidades de espacio y de personal disponible, las oficinas están proyectadas para la siguiente cantidad de personal:

- 1 Gerente.
- 3 Coordinadores.
- 1 Asistente de administración.
- 19 Ingenieros.
- 1 Sala de juntas (15 personas).

### Vestidores-sanitarios en el interior de la nave

A continuación, se muestra en la Figura 30 el plano de cómo se encontraban anteriormente los sanitarios y vestidores, donde se puede observar que no cuenta con sanitarios ni regaderas para damas.

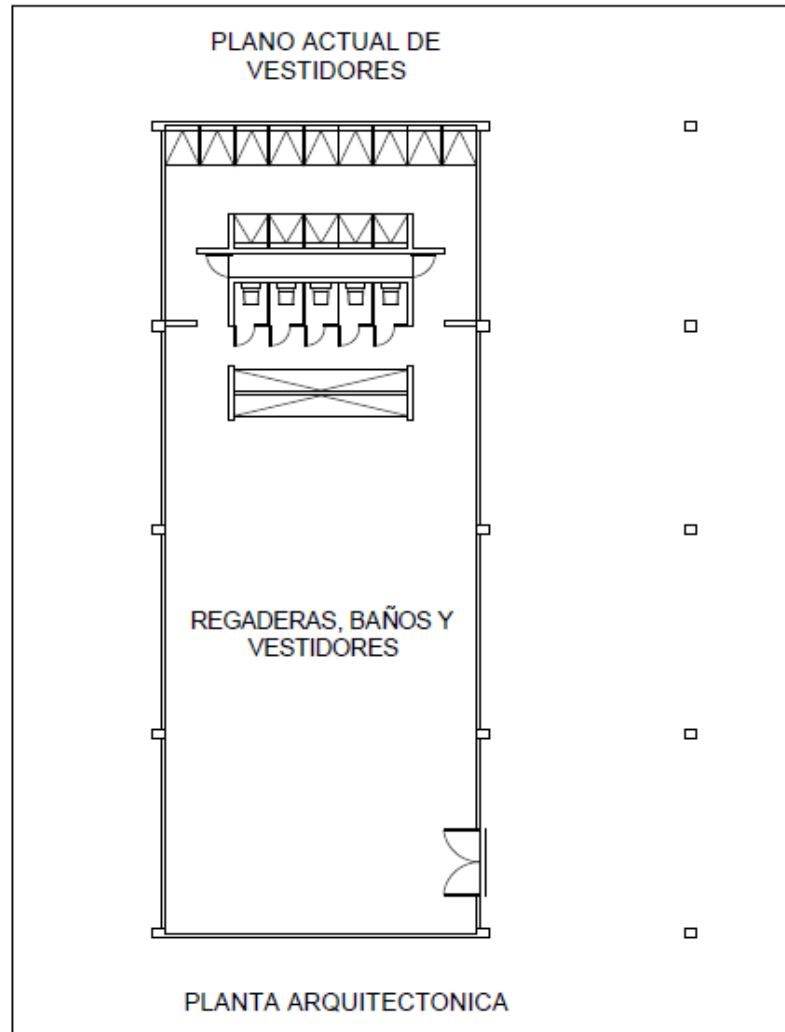


Figura 30. Plano actual de vestidores-sanitarios.

Para el cálculo del número de WC en cada módulo de sanitario, se toma como referencia la norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico del reglamento de construcciones del Distrito Federal, pág. 40 [40]. En la Tabla 5 se puede

observar las cantidades recomendadas de cada servicio para la industria, extraída de dicho reglamento.

Tabla 5. Para selección de número de servicios por trabajadores en industria [40].

| Tipología | Magnitud                        | W.C. | Lavabos | Regaderas |
|-----------|---------------------------------|------|---------|-----------|
| Industria | 76 a 100 personas               | 5    | 3       | 3         |
|           | Cada 100 adicionales o fracción | 3    | 2       | 2         |

Esta remodelación contempla realizar sanitarios y regaderas tanto para personal masculino como para personal femenino, tal como lo indica la NOM-001-STPS-2008 [9] (Capítulos 5.4 y 5.5), así como la instalación de zona de lockers para el resguardo de sus artículos personales de los trabajadores. A continuación, se enlista la cantidad de servicios que ofrecen este módulo de sanitarios y vestidores después de la remodelación.

Sanitarios y vestidores de hombres:

- Cantidad de WC: 5
- Cantidad de mingitorios: 5
- Cantidad de lavabos: 6
- Cantidad de regaderas: 14
- Cantidad de lockers: 150

Estos sanitarios según la Tabla 3, podrán dar servicio a 100 hombres.

Sanitarios y vestidores de mujeres:

- Cantidad de WC: 5
- Cantidad de lavabos: 5
- Cantidad de regaderas: 8
- Cantidad de lockers: 100

Estos sanitarios según la Tabla 3, podrán dar servicio a 100 mujeres.

De esta forma, en la Figura 31 se muestra el plano final del proyecto de remodelación de los sanitarios y vestidores al interior de la nave industrial, donde se puede observar que se instalaron sanitarios, regaderas y área de vestidores para damas.

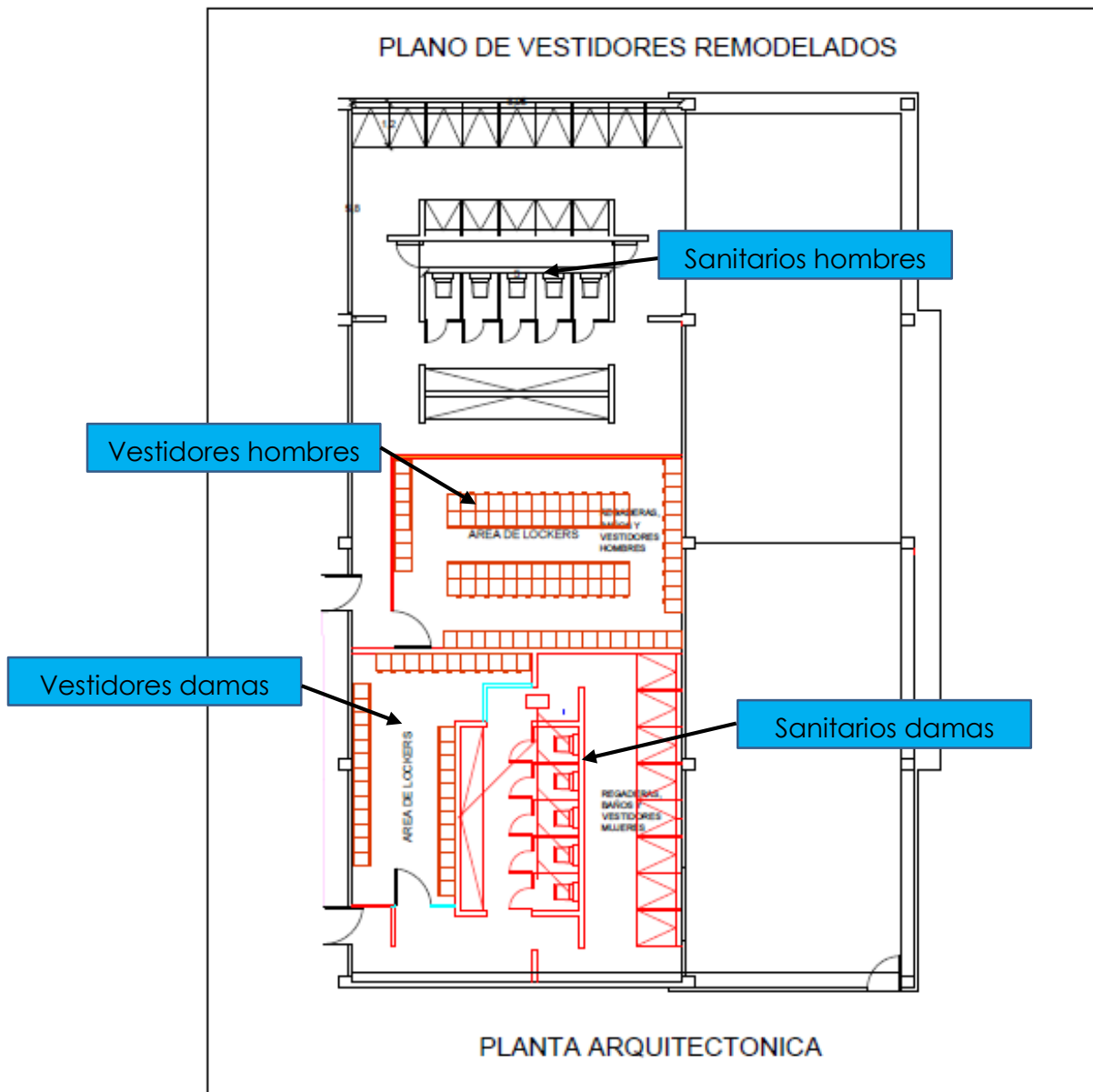


Figura 31. Plano de remodelación de vestidores-sanitarios.



Módulo de oficinas y sanitarios interiores:

Estos sanitarios y oficinas, debido a su antigüedad igualmente necesitan una profunda remodelación, por lo que se requiere trabajos tales como, cambio de piso, cambio de plafón, aplanados, rehabilitación de alumbrado, cambio de ventanas, instalación de nuevos muebles de sanitarios, cambio de mamparas y puertas, etc.

A continuación, se muestra en la Figura 32 el plano de cómo se encontraban anteriormente sanitarios y oficinas.

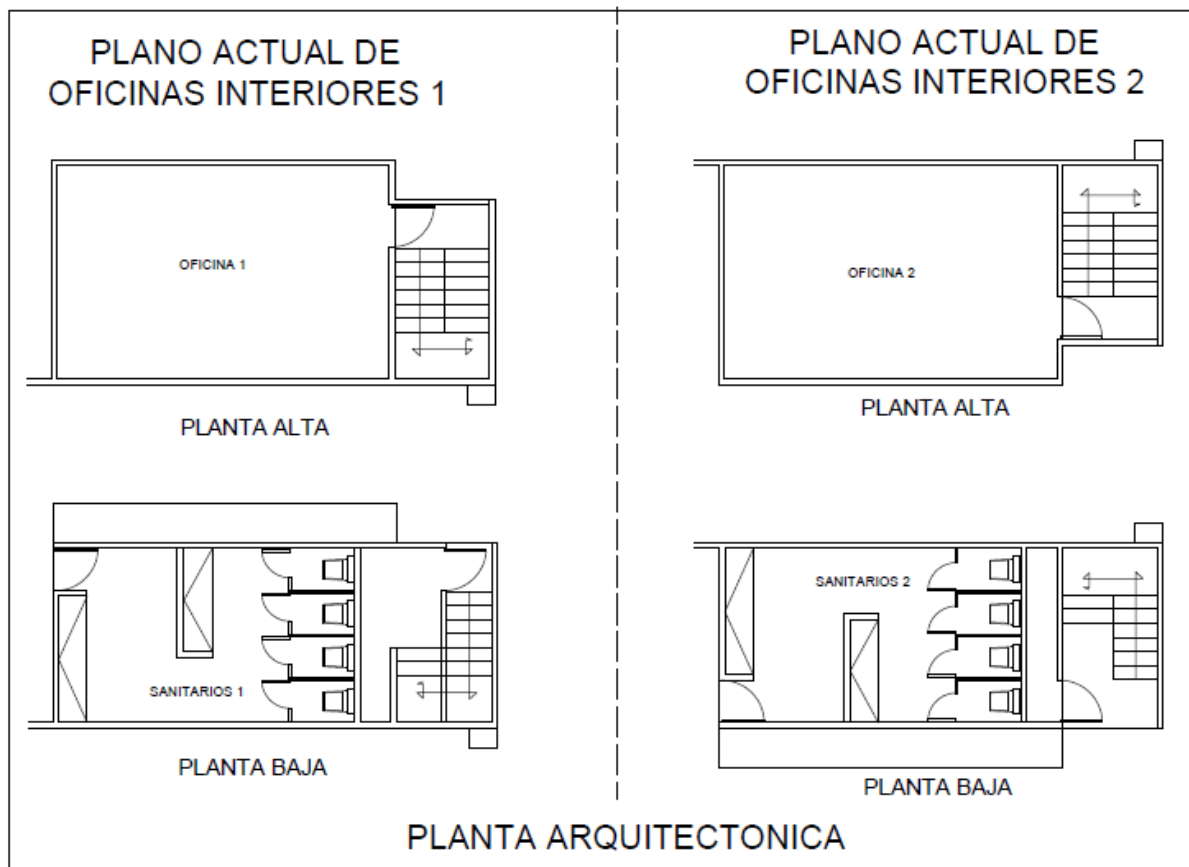


Figura 32. Plano actual de oficinas y sanitarios interiores.

Se enlista los servicios con los que cuenta los sanitarios del módulo de oficinas interiores:

- Cantidad de WC: 4
- Cantidad de mingitorios: 1
- Cantidad de lavabos: 1
- No tienen sanitarios para damas.

Como se puede observar los dos módulos son idénticos y se realizó la remodelación de ambos con las mismas características.

En la Figura 33 se muestra el plano del proyecto de remodelación de los sanitarios y oficinas interiores, donde se puede observar el mobiliario de las oficinas.

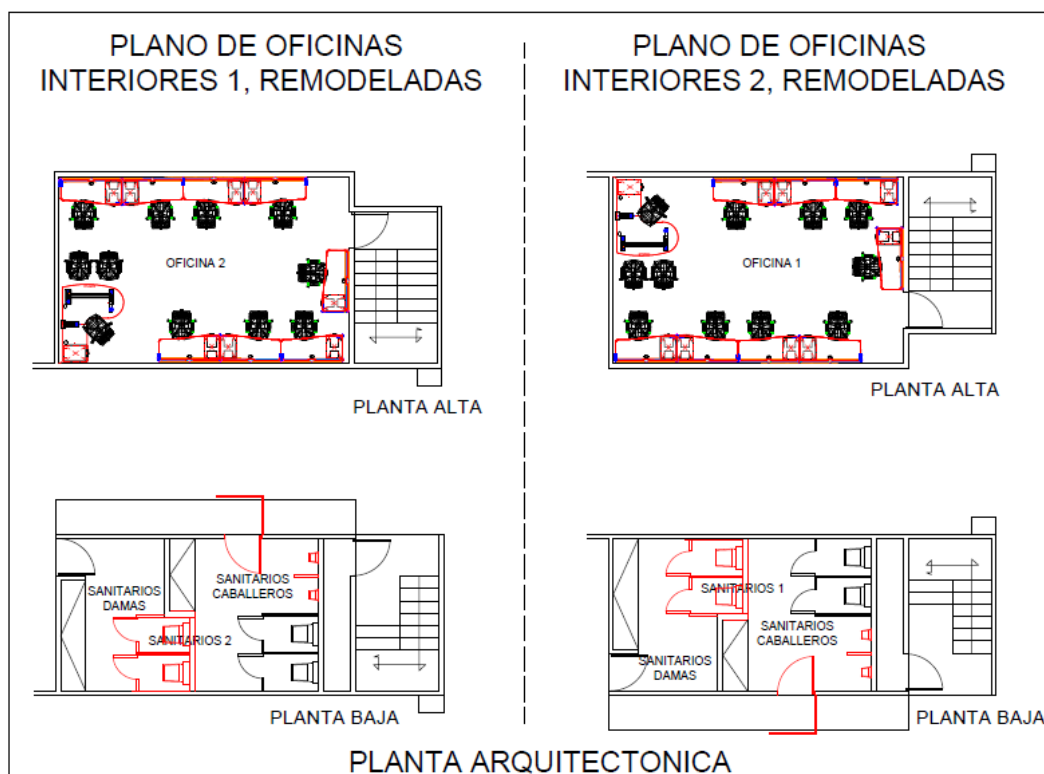


Figura 33. Plano de remodelación de oficinas y sanitarios interiores.

Esta remodelación contemplo realizar sanitarios para personal masculino como para personal femenino, tal y como lo indica la NOM-001-STPS-2008 (5.4 y 5.5) [9]. Se enlista a continuación la cantidad de servicios con los que cuentan los sanitarios, después de la remodelación.

Sanitarios de hombres por módulo:

- Cantidad de WC: 2
- Cantidad de mingitorios: 2
- Cantidad de lavabos: 1

Estos dos módulos de sanitarios según la Tabla 3, podrán dar servicio a 100 hombres

Sanitarios de mujeres por módulo:

- Cantidad de WC: 2
- Cantidad de lavabos: 1

Estos dos módulos de sanitarios según la Tabla 3, podrán dar servicio a 100 mujeres.

El módulo de oficinas tiene la capacidad para 9 personas según el arreglo mostrado en la Figura 32.

### **3.3 DISEÑO DE FLUJO DE PROCESO DE MANUFACTURA**

Para el diseño del flujo de proceso se utilizó la metodología SLP la cual fue descrita en la Sección 2.3 del Capítulo 2, misma que indica la recopilación y análisis de datos.

#### **3.3.1. Recopilación de datos**

La recopilación de datos se describe en los siguientes cinco puntos:

1. Producto (P): El producto a realizar serán autobuses de pasajeros del modelo Buller y Linner 12 y la materia prima principal a utilizar para su producción serán las siguientes:
  - Motores de combustión interna
  - Neumáticos
  - Perfiles estructurales
  - Tornillería
  - Madera
  - Fibra de vidrio
  - Cristales
  - Pintura
2. Cantidad (Q): Se producirán tres unidades diarias en un turno de 12 horas.
3. Recorrido (R): Para la correcta distribución de la planta se necesita primeramente conocer el proceso de manufactura de los modelos que se fabricaran en estas nuevas instalaciones, para poder definir el tipo de flujo que aplique a este tipo de proceso.

Se dividen en dos líneas, una es la línea de chasis que es donde se ensambla todo el bastidor del chasis y tren motriz de la unidad, la otra línea es de carrocerías que es donde se ensambla la estructura, se reviste la unidad en el exterior e interior de la

misma, posteriormente se pasa por el proceso de pintura y se termina con el área de acabado.

A continuación, se enlistan en las Tabla 6 y 7 los centros de trabajo considerados en el proceso de ensamble de las líneas de chasis y carrocerías.

Tabla 6. Centros de trabajo asignados a línea chasis.

| No. centro de trabajo | Descripción                             |
|-----------------------|---|
| G01                   | Mesa de cuadratura de chasis            |
| G02                   | Subensambles ejes                       |
| G03                   | Ensamble llantas                        |
| G04                   | Preparación chasis                      |
| G05                   | Pintura chasis                          |
| G06                   | Subensamble motor caja                  |
| G07                   | Ensamble motor y sistema neumático      |
| G08                   | Ensamble arnés bastidor escape          |
| G09                   | Ensamble radiador y sistema combustible |
| G10                   | Lubricación y detallado                 |
| G11                   | Ensamble placa pedales                  |

Tabla 7. Centros de trabajo asignados a línea carrocerías.

| No. Centro de trabajo | Descripción                                    |
|-----------------------|--|
| J01                   | Banca Buller                                   |
| J02                   | Banca Linner 12                                |
| J06                   | Subensambles carrocerías Buller                |
| J07                   | Subensambles carrocerías Linner 12             |
| J08                   | Estructura frontal Buller                      |
| J09                   | Estructura frontal Linner 12                   |
| J10                   | Estructura trasera Buller                      |
| J11                   | Estructura trasera Linner 12                   |
| J12                   | Laterales izquierdo y derecho Buller/Linner 12 |
| J13                   | Estructura toldo Buller/Linner 12              |

|     |   |
|-----|---|
| J14 | Estructura pisos Buller/Linner 12             |
| J15 | Plataforma Buller                             |
| J16 | Principal Buller/Linner 12                    |
| J17 | Terminación soldadura                         |
| J18 | Unión chasis carrocerías                      |
| J19 | Subensambles aire acondicionado y calefacción |
| J20 | Preparación mecánica                          |
| J21 | Laminación exterior                           |
| J22 | Conchas delantera y trasera                   |
| J23 | Revestimiento cajuelas                        |
| J24 | Poliuretano asreado y antirruído              |
| J25 | Revestimiento interior piso                   |
| J26 | Revestimiento interior toldo                  |
| J27 | Ventanillas y parabrisas                      |
| J28 | Arranque de unidad                            |
| J29 | Preparación pintura                           |
| J30 | Aplicación de pintura                         |
| J31 | Horneo de pintura                             |
| J32 | Desempapelado                                 |
| J33 | Liberación pintura                            |
| J34 | Luces exteriores                              |
| J35 | Sistema eléctrico                             |
| J36 | Subensambles de puertas                       |
| J37 | Alineación                                    |
| J38 | Preparación carretera                         |
| J39 | Prueba de rodillos                            |
| J40 | Prueba de carretera                           |
| J41 | Prueba de hermetismo                          |
| J42 | Detallado                                     |
| J43 | Liberación                                    |
| J44 | Entrega a ventas                              |

4. Servicios (S): Los servicios para el personal serán los siguientes (descritos en la sección 3.2 de este mismo capítulo):

- Sanitarios
- Vestidores
- Mantenimiento
- Oficinas

5. Tiempo (T): La cantidad de producción pronosticada de acuerdo con las expectativas de ventas de Dina Camiones durante los primeros años será:

- Modelo Linner 12, 100 unidades por año.
- Modelo Buller, 50 unidades por año.

### **3.3.2. Análisis de datos recolectados**

De acuerdo a la metodología SLP y después de haber recopilado los datos anteriores se procede a realizar los siguientes análisis:

1. Análisis producto cantidad (P-Q).
2. Análisis de recorridos.
3. Análisis de relación entre actividades.
4. Análisis de relación de recorridos.
5. Análisis de relación de espacios.

#### *1. Análisis producto cantidad (P-Q)*

De acuerdo al SLP de [1] se determina mediante una gráfica de Producto-Cantidad, el tipo de proceso que se adecua a nuestro proyecto.

La cantidad de productos son 2 modelos y la cantidad a producir serian 50 unidades del Modelo Buller y 100 unidades del modelo Linner 12 por año; Por lo que la Figura 34, indica la relación producto-cantidad resultante para este proceso.

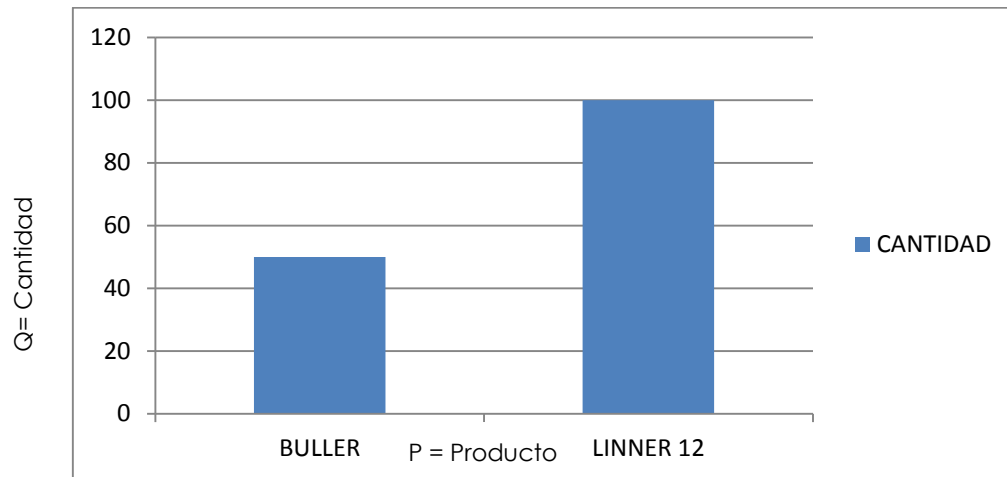


Figura 34. Grafica producto-cantidad para determinar el tipo de proceso.

Según se observa en la Figura 34 y de acuerdo con la metodología SLP descrita en la Sección 2.3.1 del Capítulo 2, es recomendable proponer una línea de ensamble del tipo cadena o en línea, tal como se utiliza en la industria automotriz.

## 2. Análisis de recorridos

En este paso se determina la secuencia de las actividades a realizar en la línea de producción y se realiza por medio de un diagrama de recorrido sencillo, tal como se muestra en la Figura 35. Para esto se resumen todas las estaciones de trabajo anteriormente descritas en las Tablas 4 y 5, en las siguientes diez áreas clave y según el orden de ensamble propuesto.

- 1.- Oficinas.
- 2.- Almacén de materia prima.
- 3.- Línea de chasis.
- 4.- Línea de carrocerías.
- 5.- Línea de revestimiento exterior.
- 6.- Línea de revestimiento interior.
- 7.- Línea de pintura.
- 8.- Línea de acabado.
- 9.- Entrega a ventas.
- 10.- Mantenimiento.

Las áreas antes mencionadas se muestran de manera ordenada en un diagrama de flujo de proceso, donde se indica el flujo en la línea de producción (véase Figura 35).

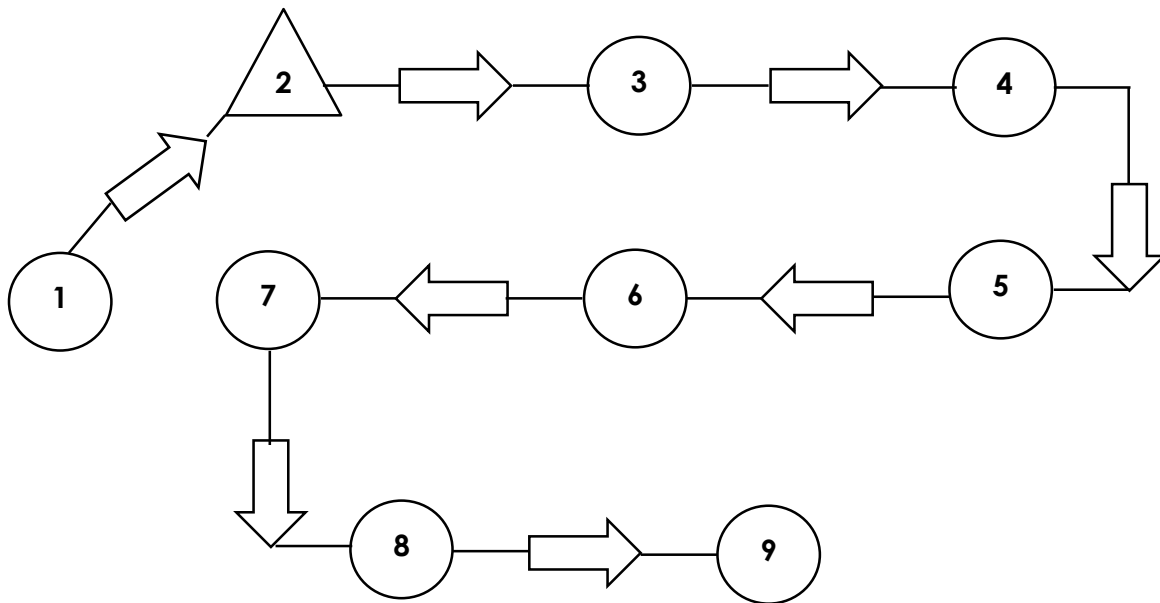


Figura 35. Diagrama de recorrido.

### 3. Análisis de relación entre actividades

Para elaborar la tabla relacional de actividades según [1], se considera el orden de ensamble propuesto en el tema anterior considerado según la experiencia y la naturaleza del flujo de proceso de este tipo de productos:

- 1.- Oficinas.
- 2.- Almacén de materia prima.
- 3.- Línea de chasis.
- 4.- Línea de carrocerías.
- 5.- Línea de revestimiento exterior.
- 6.- Línea de revestimiento interior.
- 7.- Línea de pintura.
- 8.- Línea de acabado.
- 9.- Entrega a ventas.
- 10.- Mantenimiento.



En la Figura 36, se muestran las áreas antes descritas agrupadas según la tabla relacional de actividades como resultado del análisis de relaciones entre actividades mencionado en la Sección 2.3.1 del Capítulo 2.

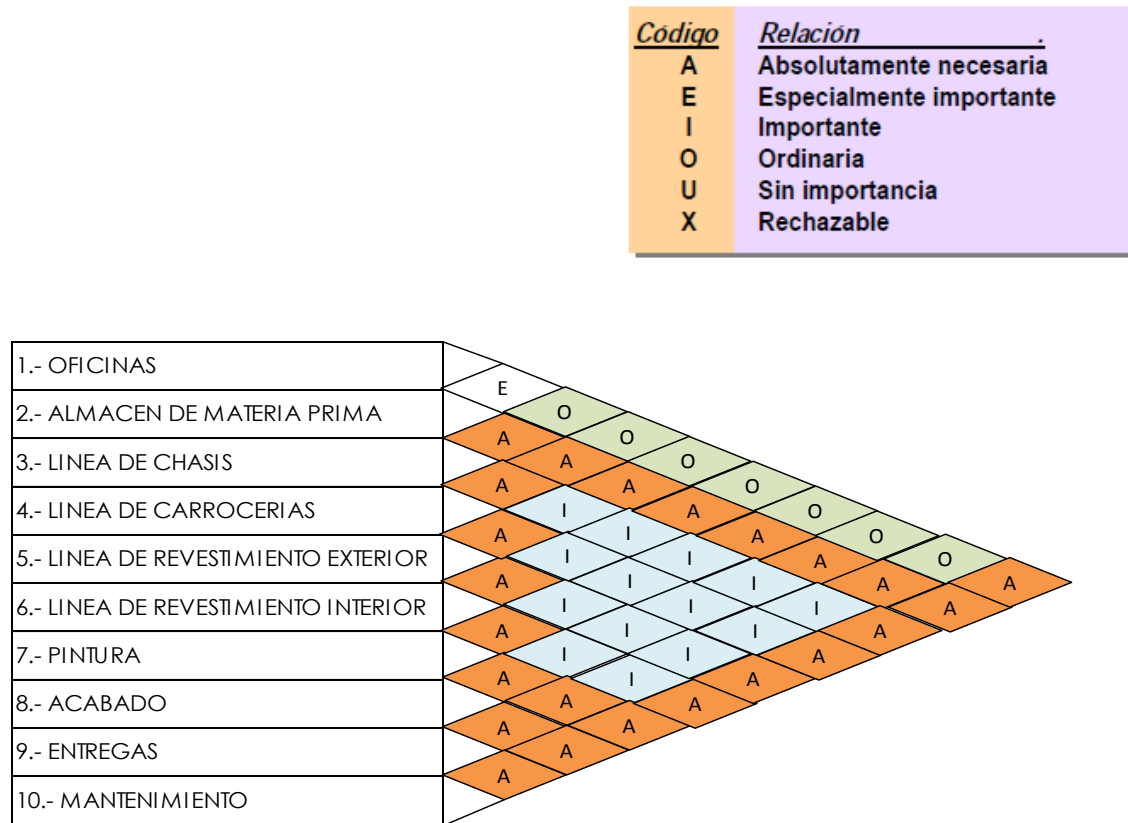


Figura 36. Tabla relacional de actividades.

Ejemplo.

Como se puede observar y derivado de un análisis entre la importancia que debe existir entre las diferentes áreas, la Figura 36 hace una relación directa entre las mismas a diferentes niveles de importancia, según la tabla de códigos mostrados en la parte superior de esta misma figura. Ejemplos de la importancia de relación entre las diferentes áreas se muestran a continuación:

- La relación que se tiene entre las oficinas y el almacén de materia prima es "especialmente importante" por lo que se marca con el código "E". Lo anterior debido a que se maneja documentación entre ambos departamentos.

- Otra relación “importante” marcada con el código “I” es la existente entre las actividades relacionadas al proceso de producción. Puesto que los procesos son ligados derivado de las propias necesidades de la línea de producción.
- La relación “absolutamente necesaria” marcada con el código “A”. Esto debido a que son actividades secuenciales, es decir, hasta que no se termine esa actividad no se puede continuar la siguiente.

El siguiente paso plantea mediante un diagrama la relación entre estas actividades y su intensidad cumpliendo con los principios de la distribución de planta, según [1].

#### 4. Análisis de relación de recorridos.

Según el procedimiento SLP y siguiendo el mismo código mostrado en la tabla relacional de actividades (Figura 35). En la Figura 37 se indica mediante líneas el grado de intensidad necesario en la relación entre las diferentes actividades.

| <u>Código</u> | <u>Relación</u>          |
|---------------|--------------------------|
| A             | Absolutamente necesaria  |
| E             | Especialmente importante |
| I             | Importante               |
| O             | Ordinaria                |
| U             | Sin importancia          |
| X             | Rechazable               |

|   |       |
|---|-------|
| A | ===== |
| E | ===== |
| I | ===== |
| O | ===== |
| U | ===== |

Figura 37. Códigos de identificación de diagramas [1].

A continuación, en la Figura 38 se ilustra el diagrama relacional de actividades incluido el flujo propuesto, donde se analiza la relación entre ellas y el correcto flujo de ensamble. Cabe mencionar que el área de mantenimiento es un área de servicio y ésta dará servicio a todas las áreas, más sin embargo no se tiene un taller para cada una, sino que se cuenta con un taller central donde se atiende a las diferentes áreas cuando sea requerido, por lo que se coloca afuera del sistema.

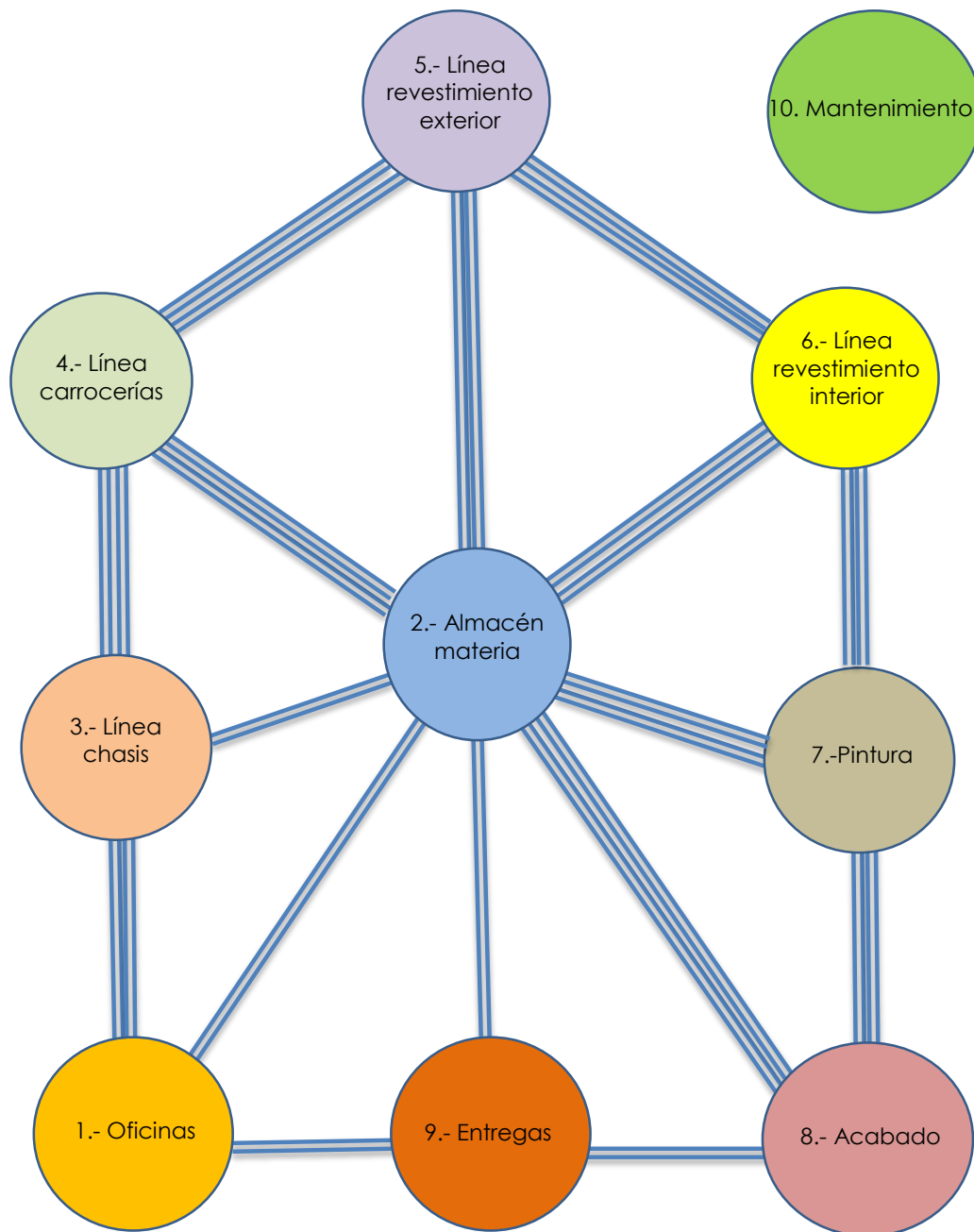


Figura 38. Diagrama relacional de actividades.

Con este arreglo se cumple con los principios de integración de conjunto, el de mínima distancia recorrida y el de circulación o recorridos planteados por [1], debido a la importancia entre las actividades con mayor flujo de materiales. Para observar con mayor detalle lo dicho, el siguiente diagrama muestra características singulares de recorrido.

Dando continuidad con el análisis realizado, la Figura 39 muestra el diagrama relacional de recorridos, indicando la relación entre las actividades con un número sobre la línea (del 0 al 100 según su intensidad). Finalmente las actividades fueron ordenadas para evitar cruces entre las actividades críticas de tal manera que no se crucen las actividades o al menos entre las actividades críticas.

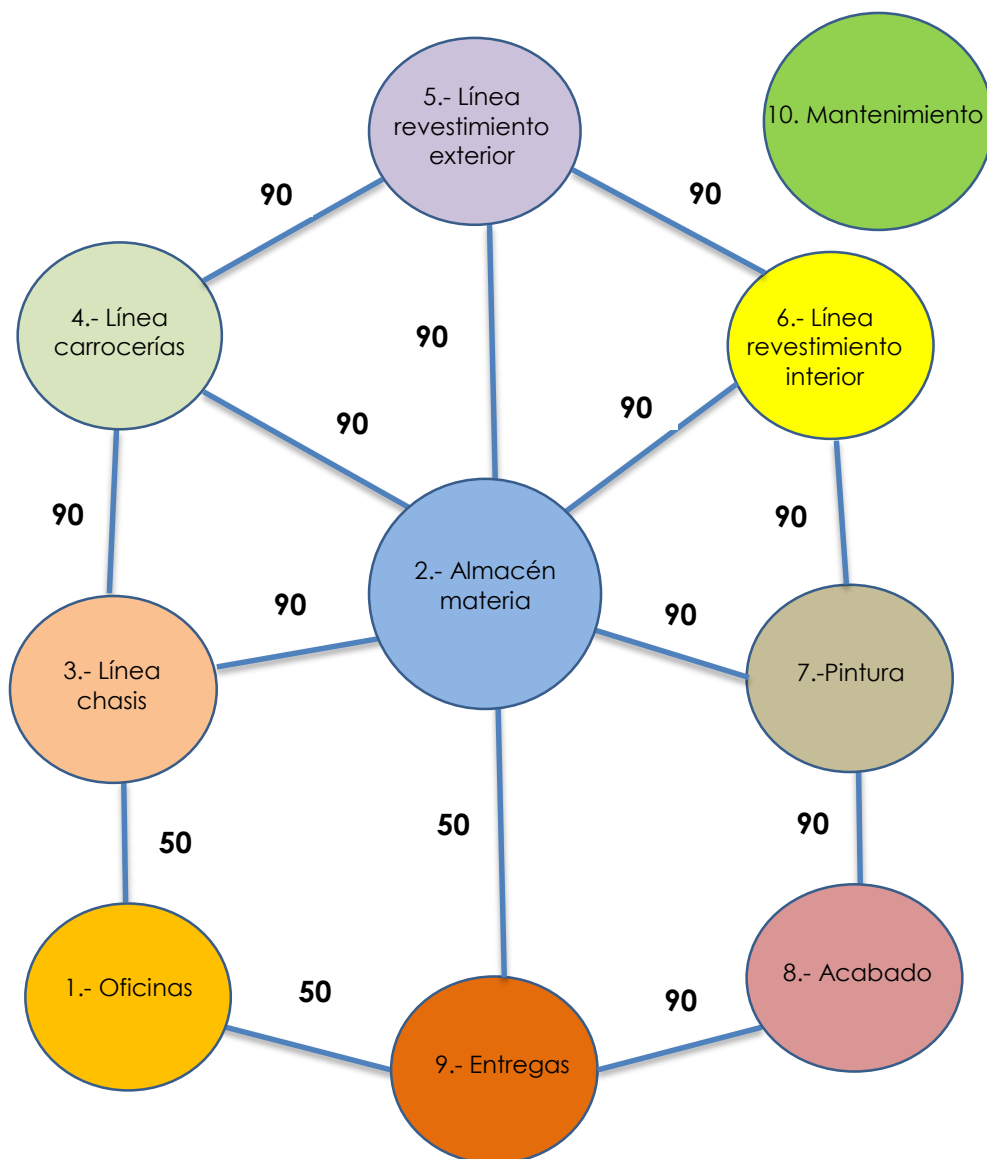


Figura 39. Diagrama relacional de recorridos.

##### 5. Análisis de relación de espacios.

Hasta este punto las actividades a realizar no tienen dimensión ni forma, por lo que en el siguiente paso se define el espacio (m<sup>2</sup>) necesario para cada actividad y es valorado el

espacio destinado para el total de actividades incluidas en este proyecto. La superficie disponible con la que cuenta Dina Camiones para realizar este proyecto es de 13,600 m<sup>2</sup>, partiendo de esto, la Figura 40 muestra los resultados de dicho análisis.

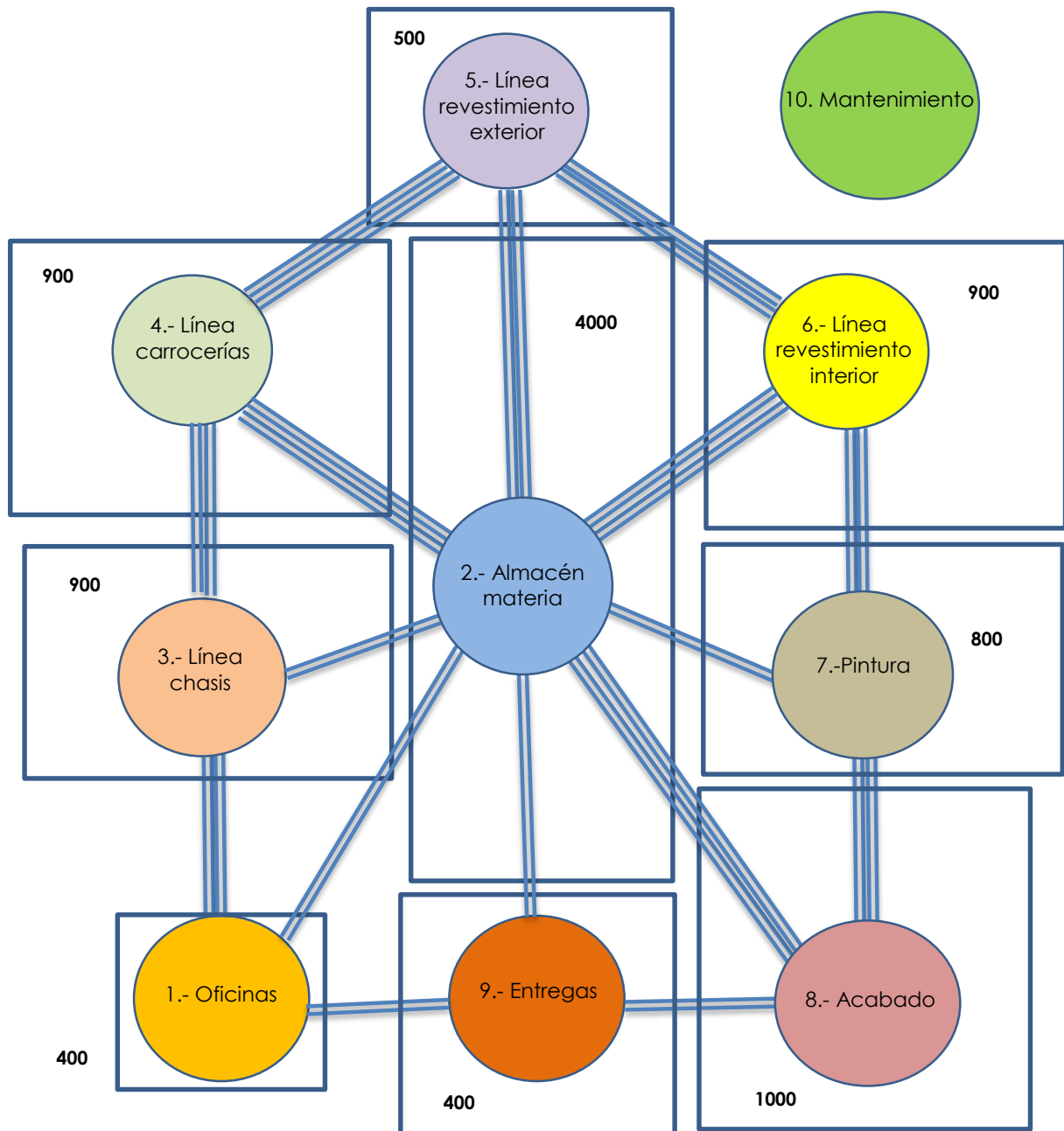


Figura 40. Diagrama relacional de espacios en m<sup>2</sup>.

El diagrama relacional de espacios de la Figura 40 es seccionado por recuadros, al interior de cada recuadro los espacios para cada una de las actividades se describen

en m<sup>2</sup>, lo que nos da un total de 9,800 m<sup>2</sup> siendo menor al área disponible. La necesidad de espacio en las distintas áreas se obtuvo del proceso que tiene Dina Camiones actualmente en otra línea de producción y que son adecuadas para el proceso de manufactura de este proyecto.

De acuerdo con la información recopilada hasta este punto, se está en disposición de construir el Layout del proceso de manufactura, por lo que el tema 3.3.3 presenta la propuesta para la nueva línea de producción, tomando en cuenta todos los aspectos que se involucran en este proyecto.

### **3.3.3 Layout de distribución de planta**

De acuerdo con la infraestructura existente y valorando que los accesos a la planta y salidas se encuentran ubicadas en la misma dirección, y al espacio que se tiene para el proceso, se propone una distribución de planta con un flujo en "S", según la clasificación dada por [29].

La Figura 41 muestra la propuesta de distribución de planta general de acuerdo a los principios y a la metodología SLP de [1] resultante del capítulo anterior, donde se analizaron las relaciones que existen entre las diferentes actividades tanto en sus recorridos como en las áreas necesarias para su óptimo desempeño. Además de lo anterior se tomaron en cuenta los siguientes factores para el diseño de distribución de planta:

- Superficie disponible de 13,600 m<sup>2</sup>.
- 55 centros de trabajo necesarios para el proceso.
- Equipo y maquinaria: grúas, cabinas de pintura, cabina de poliuretano, montaduras, cabina de hermetismo, dinamómetro etc.
- Almacén de materia prima.
- Servicios auxiliares: energéticos, almacén de residuos, etc.
- Sanitarios, vestidores, oficinas y pasillos.
- Infraestructura disponible.

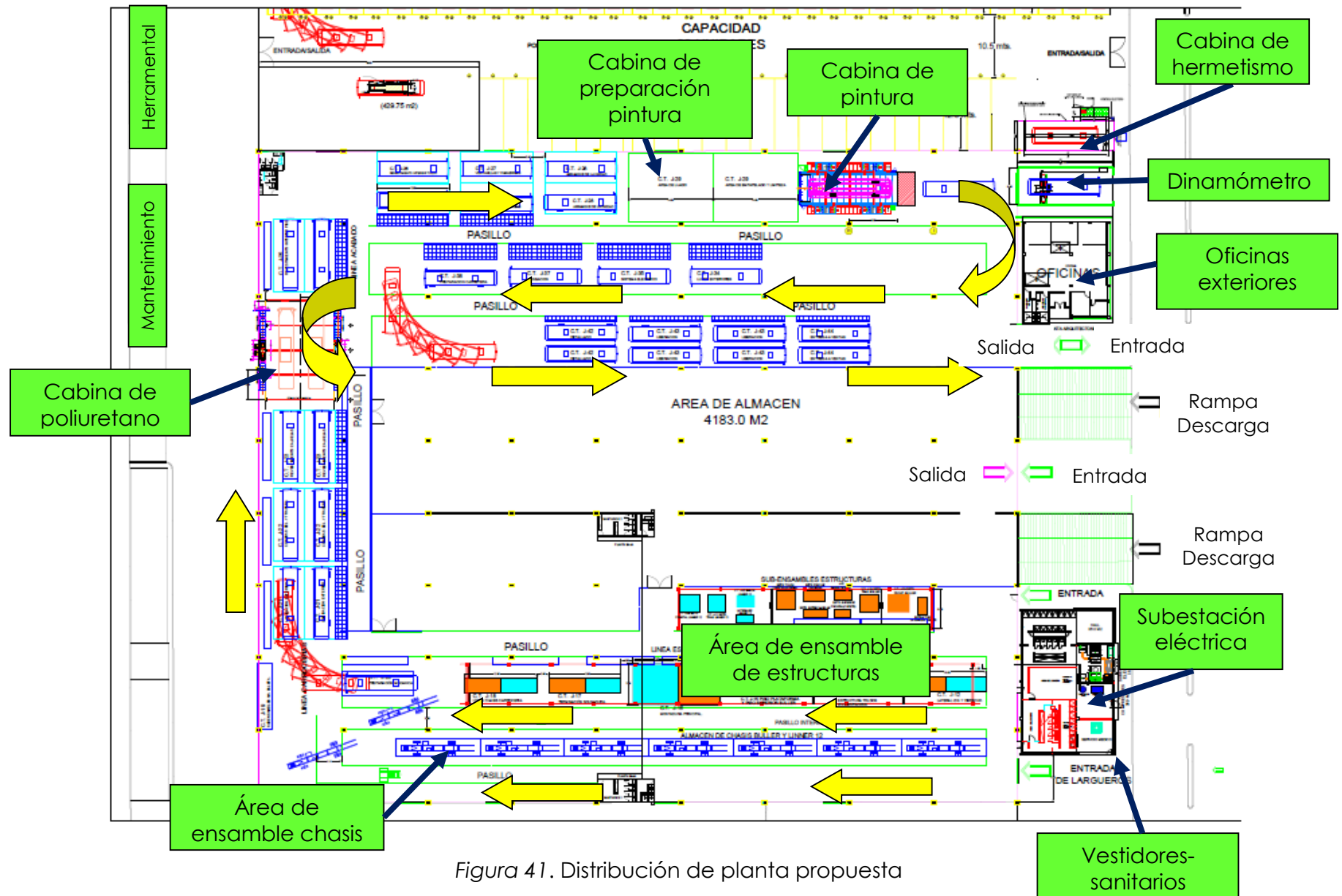


Figura 41. Distribución de planta propuesta

Esta distribución se realizó con el fin de obtener la distribución de planta más eficiente de una manera sistemática, por lo que se consideraron en su elaboración los seis principios básicos planteados anteriormente por [1]:

- Principio de integración de conjunto: Con esta distribución se consigue que todos los elementos que compondrán esta planta se integren como un conjunto, es decir que tanto la línea de producción, almacén, servicios auxiliares se encuentren integrados lo más cercano posible como se observa en la Figura 41.
- Principio de la mínima distancia recorrida: Basado en este principio, se colocó el almacén de materiales en la parte central del proceso para que el surtimiento de materiales se realice con la menor distancia recorrida, así mismo se colocó el almacén de recibo de materiales adjunto a las rampas de descarga para su fácil reparto a los almacenes de cada línea.
- Principio de la circulación o recorrido: Este principio se refiere a que el producto en este caso se tiene que mover en forma progresiva, conforme avanza el proceso y sin ningún retroceso. Esta distribución refiere a un proceso continuo donde el producto en este caso el autobús, sigue una geometría en "S" donde se moverá de forma progresiva de un centro de trabajo al siguiente, sin que existan retrocesos o movimientos transversales.
- Principio del espacio cubico: El almacenaje de materia prima, se realizó tomando en cuenta este principio, donde se propone que el material se contenga en racks de seis metros de altura del tipo rack selectivo, para aprovechar lo más que se pueda la altura de la nave.
- Principio de satisfacción y seguridad: Esta distribución por su forma y flujo no pone en riesgo a los trabajadores que laboraran en el proceso de producción, además de que se implementaran todas las medidas de seguridad en cada proceso de la línea de producción tal como lo indica la NOM-001-STPS-2008 [9], referente a todas las condiciones de seguridad en los centros de trabajo.
- Principio de flexibilidad: Con esta distribución y con los equipos que se instalaran en esta planta se podrá realizar cambios sustanciales a la línea de producción sin que genere costos elevados y/o tiempos largos en los ajustes. Los equipos que se instalaran tales como cabinas de pintura, grúas viajeras y red de aire serán modulares de tal forma que se puedan desinstalar rápidamente.



Derivado de lo anterior, se pueden observar las siguientes ventajas en la distribución de planta propuesta:

- El surtimiento de materiales es eficiente debido a que el almacén se ubica al centro del proceso, por lo tanto, los materiales recorren poca distancia (principio de la mínima distancia recorrida), además se colocan dos rampas de descarga de materiales en su entrada.
- El flujo del proceso en "S" (el cual se indica en flecha color amarillo) no realiza demasiadas curvas en "U" para facilitar el movimiento de los autobuses (indicados en color azul), cumpliendo el principio de circulación de materiales.
- Se tiene acceso a todos los servicios auxiliares desde cualquier punto del proceso (principio de integración de conjunto), como son energéticos, sanitarios, oficinas, etc.
- Se incluyen todos los centros de trabajo y maquinaria necesaria para la fabricación de los autobuses como es montaduras, grúas, cabina de pintura, etc.
- La subestación eléctrica se ubica en el exterior por seguridad y para dar cumplimiento a la normatividad.
- Los vestidores y regaderas se ubican en la entrada de la nave, para facilitar el control del personal.
- La cabina de hermetismo y dinamómetro se ubican en el exterior por cuestiones de seguridad.
- La línea de chasis está en paralelo con la línea de estructuras por conveniencia del proceso.

Además de lo anterior un factor importante que se tomó en cuenta en este proyecto es la flexibilidad de la línea de producción. La referencia [41], indica que la flexibilidad ha ido adquiriendo paulatinamente una mayor importancia pasando a ser un objetivo primordial. Se entiende que una distribución es flexible, cuando se puede ajustar o reordenar en poco tiempo, con poco esfuerzo, a un menor costo sin afectar el rendimiento, capaz de adaptarse tanto a variaciones del entorno económico, social o tecnológico de la empresa, así como a cambios en la legislación ambiental y finalmente a reajustes internos de la planta. Tal como se describe en el principio de flexibilidad planteado por [1].

### **3.4 DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA Y MAQUINARIA**

Para el diseño de la infraestructura de las nuevas instalaciones para la producción de los modelos Buller y Linner 12. Se procede de manera ordenada y sistemática según el listado de puntos del apartado 4.1.

Las nuevas instalaciones y maquinaria propuesta para la nueva línea de producción, se mencionan a continuación:

- a) Diseño de sistema eléctrico.
- b) Diseño del sistema de aire comprimido.
- c) Diseño de grúas viajeras en el área de estructuras y chasis.
- d) Selección de cabina de pintura.
- e) Selección de cabina de preparación pintura.
- f) Selección de cabina de aplicación de poliuretano y anticorrosivo.
- g) Diseño de cabina de hermetismo.
- h) Selección de dinamómetro de pruebas.

#### **3.4.1 Diseño de sistema eléctrico**

Actualmente se tiene un sistema eléctrico de alumbrado, que además de ser obsoleto está en muy malas condiciones de operación, por lo que se proyecta instalar un sistema completo que abarque desde la contratación de un nuevo servicio ante la Comisión Federal de Electricidad (CFE), hasta la instalación de una sub-estación eléctrica que abastezca esta planta.

Respecto al cálculo de capacidad para la subestación eléctrica se tomó en cuenta toda la carga instalada que tendrá la planta de ensamble, mostrado en el siguiente apartado 4.1.1.1 (Las abreviaturas correspondientes a las ecuaciones, memoria de cálculo y contenido de Tablas 6-12, pueden observarse en el glosario de términos de la página IX).

### 3.4.1.1 Memoria de cálculo de la subestación eléctrica

La memoria de cálculo abarca lo siguiente:

- a) Selección del transformador a 480 V.
- b) Selección de la protección en lado primario del transformador 480 V.
- c) Protección en lado secundario del transformador 480 V.
- d) Cálculo de la corriente de corto circuito utilizando el método de bus infinito.
- e) Selección del conductor principal por corriente.
- f) Selección del conductor principal por caída de tensión.
- g) Selección de canalización para los cables alimentadores.
- h) Selección del transformador a 220 V.
- i) Selección de la protección en lado primario del transformador.
- j) Protección en lado secundario del transformador.
- k) Cálculo de corriente de corto circuito utilizando el método de bus infinito.
- l) Cálculo de corto circuito utilizando el método de bus infinito.
- m) Selección del conductor principal por caída de tensión.
- n) Selección de canalización para los cables alimentadores.
- o) Cálculo de sistema de tierra.

Para poder realizar los cálculos necesarios en los puntos antes listados, se recopiló información de la carga instalada requerida para la nueva línea de producción. De acuerdo a la distribución de planta y a la maquinaria a instalar analizada en el Capítulo 3, se obtuvieron las cargas instaladas en Kilowatts (kW) para cada una de las áreas de la línea de producción (Tablas 8, 9, 10 y 11), para calcular el tamaño de la subestación eléctrica.

Tabla 8. Carga instalada en el área de soldadura en 480 V.

| Tipo de carga        | Circuito | Potencia (kW) |
|----------------------|----------|---------------|
| Máquinas de soldar   | CTO-01   | 9.3312        |
| Contactos auxiliares | CTO-02   | 4.6656        |
| Máquinas de soldar   | CTO-03   | 9.3312        |
| Contactos auxiliares | CTO-04   | 4.6656        |
| Máquinas de soldar   | CTO-05   | 11.664        |
| Máquinas de soldar   | CTO-06   | 11.664        |

|                    |              |              |
|--------------------|--------------|--------------|
| Máquinas de soldar | CTO-07       | 11.664       |
| Máquinas de soldar | CTO-08       | 11.664       |
| Máquinas de soldar | CTO-09       | 11.664       |
|                    | <b>TOTAL</b> | <b>86.31</b> |

Tabla 9. Carga instalada en línea chasis.

| Tipo de carga        | Circuito     | Potencia (kW) |
|----------------------|--------------|---------------|
| Máquinas de soldar   | CTO-01       | 20.996        |
| Contactos auxiliares | CTO-02       | 8.165         |
| Máquinas de soldar   | CTO-03       | 23.328        |
|                      | <b>Total</b> | <b>52.489</b> |

Tabla 10. Tableros de alumbrado.

| Tipo de carga          | Circuito     | Potencia (kW) |
|------------------------|--------------|---------------|
| Tablero de Alumbrado 1 | CTOS         | 40            |
| Tablero de Alumbrado 2 | CTOS         | 40            |
| Tablero de Alumbrado 3 | CTOS         | 40            |
| Alumbrado exterior     | CTO exterior | 30            |
|                        | <b>TOTAL</b> | <b>150</b>    |

Tabla 11. Tablero "I-line"

| Tipo de carga                  | Circuito     | Potencia (kW) |
|--------------------------------|--------------|---------------|
| Compresor GNC                  | CTO-01       | 122           |
| Cabina de pintura              | CTO-02       | 90            |
| Tablero de línea-revestimiento | CTOS         | 46.5          |
|                                | <b>TOTAL</b> | <b>258.5</b>  |

Como resultado de las Tablas 6-9, en las Tablas 12 y 13 se presentan un resumen de cargas en kW, mismas que serán tomadas en cuenta para el cálculo del sistema eléctrico.

Tabla 12. Resumen de cargas en tablero auto soportado A-1 de subestación eléctrica, 480 V.

| Tipo de carga                 | Circuito     | Potencia (kW) |
|-------------------------------|--------------|---------------|
| Tablero de montaduras         | Fuerza       | 86.31         |
| Tablero chasis y subensambles | Fuerza       | 52.489        |
| Tableros de alumbrado         | Alumbrado    | 150           |
| Tablero I "line"              | Fuerza       | 258.5         |
| Compresor A                   | Fuerza       | 37.3          |
| Máquinas de soldar            | Fuerza       | 37.3          |
| Máquinas de soldar            | Fuerza       | 37.3          |
|                               | <b>TOTAL</b> | <b>659.19</b> |

Tabla 13. Resumen de cargas en tablero auto soportado B-1 de subestación eléctrica, 220 V.

| Tipo de carga                    | Circuito     | Potencia (kW) |
|----------------------------------|--------------|---------------|
| Tablero 1, (oficina A)           | Fuerza       | 38            |
| Tablero 2, (oficina B)           | Fuerza       | 38            |
| Tablero 3, (oficina C-3 niveles) | Fuerza       | 80            |
| Tablero 4, (producción)          | Fuerza       | 40            |
| Tablero 5 (generales)            | Fuerza       | 28            |
|                                  | <b>TOTAL</b> | <b>224</b>    |

Por otro lado, los cálculos fueron realizados según la norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-2012 [2], referente a instalaciones eléctricas:

a) Selección del transformador a 480 V

Para determinar la capacidad del transformador se tomó en cuenta la carga total instalada de la Tabla 10, la cual corresponde a 659.19 kW, el factor de potencia (Fp) se considera de 0.9 para este proyecto.

Utilizando la formula (1)

$$(1) \text{ KVA} = \frac{\text{KW}}{\text{Fp}}$$

KVA= Potencia del transformador en kVA.

KW=Potencia del transformador en KW=659.19

Fp= Factor de potencia= 0.9

$$KVA = \frac{659.19}{0.9} = 732.43 \text{ kVA}$$

Por consiguiente, se selecciona un transformador trifásico tipo subestación de 750 kVA con una relación de transformación 23 - 0.48/0.277 kV, operación radial, conexión delta estrella, con un porcentaje de impedancia de fábrica de 6.72 % A 85°C.

b) Selección de la protección en lado primario del transformador. Se realiza calculando la corriente nominal de acuerdo a la fórmula (2).

Datos necesarios:

In= Corriente nominal.

KW= Potencia del transformador = 659.10 KW

Ef= Tensión entre fases = 23 kV

Fp= Factor de Potencia = 0.9

$$(2) \quad I_n = \frac{KW}{\sqrt{3} (E_f)(F_p)}$$
$$I_n = \frac{659.19}{\sqrt{3} (23)(0.9)} = 18.38 \text{ A}$$

Posteriormente de la formula (3) se calcula la corriente de excitación (Ie)

Ie= Corriente de excitación.

In= Corriente nominal= 18.38 A

$$(3) \quad I_e = I_n * 1.5$$
$$I_e = 18.38 * 1.5 = 27.57 \text{ A}$$

De lo anterior se selecciona una protección de tres fusibles de potencia de 30 A

c) Selección de la protección en lado secundario del transformador:

Datos necesarios:

KW= Potencia del transformador = 659.19 KW

Ef= Tensión entre fases = 0.48 kV

Fp= Factor de Potencia = 0.9

De los datos anteriores se tiene que la corriente nominal se obtiene de (2).

$$(2) I_n = \frac{KW}{\sqrt{3} (E_f)(F_p)}$$

$$I_n = \frac{659.19}{\sqrt{3} (0.48)(0.9)} = 881.0 \text{ A}$$

Por lo tanto y debido a la carga total instalada se decide por instalar un ITM (Interruptor termo magnético) de 3 X 1600 A, regulado a 1000 A, capacidad interruptiva de 35,000 A simétricos a 480 V, Marca: Schenider Electric.

d) Cálculo de la corriente de corto circuito utilizando el método de bus infinito

El presente cálculo es comprobación de la capacidad interruptiva del ITM principal.

Datos necesarios:

$I_{cc}$  = Corriente de corto circuito

KVA = Potencia del transformador = 750 kVA

$E_f$  = Tensión entre fases = 0.48 kV

$Z$  = Impedancia del transformador = 6.72 @ 85°C (Datos de placa del equipo)

De la formula (4) se obtiene:

$$(4) I_{cc} = \frac{KVA(100)}{\sqrt{3} (E_f)(Z)}$$

$$I_{cc} = \frac{750*100}{\sqrt{3} (0.48)(6.72)} = 13,424.2 \text{ A (simétricos)}$$

Por lo que la capacidad interruptiva seleccionada del ITM es la adecuada, ya que en el cálculo el resultado se encuentra por debajo de 35,000 A (simétricos), que es la capacidad interruptiva del equipo seleccionado.

e) Selección del conductor principal por corriente

Para la selección del conductor principal se tomó como referencia la Tabla 14 , No. 310-15(b)(16) de la NOM-001-SEDE-2012 [2], la cual nos indica la capacidad de los conductores cuando se utiliza tubería conduit, de donde se obtiene que el conductor calibre 500 MCM (Mil circular mil) en aluminio tiene un capacidad de conducción de 310 A @ 75 °C, por lo que para conducir dicha corriente antes mencionada, se utilizaran

tres conductores por fase, utilizando una configuración en paralelo de acuerdo a lo especificado en 310-10(h), teniendo una corriente de conducción final de 930 A por fase. Para el conductor de tierra física se utilizaron tres conductores de 4/0 AWG.

f) Selección del conductor principal por caída de tensión

La sección transversal "S" se calcula de la formula (5) quedando como sigue:

Datos necesarios:

S= Sección transversal.

In= Corriente nominal = 881.0 A

L= Longitud = 22 m

En = Tensión al neutro = 277 V

e% = Porcentaje de caída de tensión = 1.5 (no deberá ser mayor a 3, según 210-19

Nota 4 de la NOM-001-SEDE-2012 [22]).

$$(5) S = \frac{2(I_n)(L)}{(E_n)(e\%)}$$

$$S = \frac{2(881.0)(22)}{(277)(1.5)} = 415.5 \text{ mm}^2$$

El resultado obtenido se compara con la sección transversal del conductor seleccionado por corriente, el cual es de 500 MCM, quien tiene una sección transversal de 253 mm<sup>2</sup>, obteniendo en grupo de tres conductores por fase un valor superior, al mínimo requerido de acuerdo al cálculo anterior.

Tabla 14. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 V y 60 °C a 90 °C.

| Tamaño o designación |           | Temperatura nominal del conductor (véase la tabla 310-10(a)) |  |  |   |                               |   |
|----------------------|-----------|--|--|--|---|-------------------------------|---|
|                      |           | 60°C   | 75°C   | 90°C   | 60°C                                    | 75°C                          | 90°C  |
| mm <sup>2</sup>      | AWG o MCM | Tipos<br>TW,<br>UF   | Tipos<br>RHW,THHW,<br>THHW-LS, THW,<br>THW-LS, THWN,<br>XHHW-2, ZW-2 | Tipos<br>TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH,<br>RHW-2, THHN, THHW, THHW-LS,<br>THW-2, THWN-2, USE-2, XHH,<br>XHHW,XHHW-2, ZW-2 | Tipos<br>UF                             | Tipos<br>RHW,<br>XHHW,<br>USE | Tipos<br>SA,SIS, RHH, RHW-2,<br>USE-2, XHH,<br>XHHW,XHHW-2,ZW-2 |
|                      |           | Cobre  |  |  | Aluminio o aluminio recubierto de cobre |                               |   |



|       |      |     |     |     |     |     |     |
|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.824 | 18'' | –   | –   | 14  | –   | –   | –   |
| 1.31  | 16'' | –   | –   | 18  | –   | –   | –   |
| 2.08  | 14'' | 15  | 20  | 25  | –   | –   | –   |
| 3.31  | 12'' | 20  | 25  | 30  | –   | –   | –   |
| 5.26  | 10'' | 30  | 35  | 40  | –   | –   | –   |
| 8.37  | 8    | 40  | 50  | 55  | –   | –   | –   |
| 13.3  | 6    | 55  | 65  | 75  | 40  | 50  | 55  |
| 21.2  | 4    | 70  | 85  | 95  | 55  | 65  | 75  |
| 26.7  | 3    | 85  | 100 | 115 | 65  | 75  | 85  |
| 33.6  | 2    | 95  | 115 | 130 | 75  | 90  | 100 |
| 42.4  | 1    | 110 | 130 | 145 | 85  | 100 | 115 |
| 53.49 | 1/0  | 125 | 150 | 170 | 100 | 120 | 135 |
| 67.43 | 2/0  | 145 | 175 | 195 | 115 | 135 | 150 |
| 85.01 | 3/0  | 165 | 200 | 225 | 130 | 155 | 175 |
| 107.2 | 4/0  | 195 | 230 | 260 | 150 | 180 | 205 |
| 127   | 250  | 215 | 255 | 290 | 170 | 205 | 230 |
| 152   | 300  | 240 | 285 | 320 | 195 | 230 | 260 |
| 177   | 350  | 260 | 310 | 350 | 210 | 250 | 280 |
| 203   | 400  | 280 | 335 | 380 | 225 | 270 | 305 |
| 253   | 500  | 320 | 380 | 430 | 260 | 310 | 350 |

g) Selección de canalización para los cables alimentadores

Para poder determinar el diámetro de la canalización se toma en cuenta la Tabla 12, que es referente a dimensiones de conductores aislados y cables por lo tanto, se tiene lo siguiente:

Tres conductores calibre 500 MCM para las fases y un conductor para el neutro, los cuales tienen un área aproximada de  $450.6 \text{ mm}^2$  por cada conductor; al multiplicar los cuatro conductores tenemos  $1,802.4 \text{ mm}^2$ .

Un conductor calibre 2/0 para tierra física el cual tiene un área aproximada de  $141.3 \text{ mm}^2$ . Al final tenemos un área aproximada total de  $1,943.7 \text{ mm}^2$ .

En el caso de la tubería conduit de PVC se propone un diámetro de  $103 \text{ mm}^2$  (4 plg.), el cual tiene un área interior total de  $8,901 \text{ mm}^2$ .

Comprobación:

$$(5) SO = \frac{1943.7}{8091} \times 100 = 24.02 \%$$

Por lo tanto el 24.02% de área ocupada por los conductores es menor al máximo permitido para más de dos conductores que es del 40%.

h) Selección del transformador a 220 V

Para determinar la capacidad del transformador se tomó en cuenta la carga total instalada de la Tabla 11, cual corresponde a 224 kW. Y además tomaremos en cuenta el factor de potencia de proyecto a 0.9, por lo tanto, queda de la siguiente forma:

Utilizando la formula (1)

$$(1) KVA = \frac{KW}{Fp}$$

KVA= Potencia del transformador en kVA

KW=Potencia del transformador en KW = 224 KW

Fp= Factor de potencia = 0.9

$$kVA = \frac{224}{0.9} = 248.8 \text{ kVA}$$

Por lo anterior, se selecciona un transformador trifásico, tipo subestación de 300 kVA con una relación de transformación 23 - 0.22 / 0.127 kV, operación radial, conexión Delta-Estrella, con un porcentaje de impedancia de fábrica de 4.33 % a 85°C.

i) Selección de la protección en lado primario del transformador.

Se realiza calculando la corriente nominal de acuerdo a la fórmula (2) de la siguiente forma.

Datos necesarios:

KW= Potencia del transformador = 224 KW

Ef = Tensión entre fases = 23 kV

Fp= Factor de potencia = 0.9

$$(2) In = \frac{KW}{\sqrt{3} (Ef) (Fp)}$$
$$In = \frac{224}{\sqrt{3}(23)(0.9)} = 6.24 \text{ A}$$

Posteriormente de la formula (3) se calcula la corriente de excitación ( $I_e$ )

$I_e$  = Corriente de excitación

$I_n$  = Corriente nominal = 6.24 A

$$(3) I_e = I_n \cdot 1.5$$

$$I_e = 6.24 \cdot (1.5) = 9.37 \text{ A}$$

Por lo que se selecciona tres fusibles de potencia de 15 A c/u, para tener un margen de protección adicional.

j) Protección en lado secundario del transformador.

Datos necesarios:

$I_n$  = Corriente nominal.

KW = Potencia del transformador = 224 KW

$E_f$  = Tensión entre fases = 0.22 kV

$F_p$  = Factor de Potencia = 0.9

De los datos anteriores se tiene que la corriente nominal se obtiene de (2).

$$(2) I_n = \frac{KW}{\sqrt{3} (E_f) (F_p)}$$

$$I_n = \frac{224}{\sqrt{3} (0.22) (0.9)} = 653.1 \text{ A}$$

Por lo tanto y debido a la carga total instalada se decide por instalar un ITM 3 X 1600 amperes, regulado a 700 A, capacidad interruptiva de 35,000 A @ 220 V, Mca: Schenider Electric.

k) Cálculo de corriente de corto circuito utilizando el método de bus infinito.

El presente cálculo es comprobación de la capacidad interruptiva del ITM principal.

Datos necesarios:

$I_{cc}$  = Corriente de corto circuito

KVA = Potencia del transformador = 300 kVA

$E_f$  = Tensión entre fases = 0.22 kV

Impedancia del transformador (%Z) = 4.33 @ 85°C

De la formula (4) se obtiene:

$$(4) I_{cc} = \frac{KVA(100)}{\sqrt{3} (E_f)(Z)}$$

$$I_{cc} = \frac{300 \cdot 100}{\sqrt{3} (0.22)(4.33)} = 18,182.35 \text{ A (simétricos)}$$

Se tiene que la capacidad interruptiva seleccionada del ITM es la adecuada, ya que en el cálculo el resultado se encuentra por debajo de 35,000 A (simétricos).

l) Cálculo de corto circuito utilizando el método de bus infinito.

Para la selección del conductor principal nos referimos a la Tabla 12 de la NOM-001-SEDE-2012 [2], la cual nos indica la capacidad de los conductores cuando se utiliza tubería conduit, por lo tanto la tabla nos indica que el conductor calibre 500 MCM, en aluminio tiene una capacidad de conducción de 310 A a 75 °C, por lo que para conducir dicha corriente antes mencionada, se utilizaran tres conductores por fase, utilizando una configuración en paralelo de acuerdo a lo especificado en 310-10(h), teniendo una corriente de conducción final de 930 A por fase.

Para el conductor de tierra física se utilizaron tres conductores de 4/0 AWG.

m) Selección del conductor principal por caída de tensión

La sección transversal "S" se calcula de la formula (5) quedando como sigue:

Datos necesarios:

$I_n$  = Corriente nominal = 653.1 A

$L$  = Longitud = 22 m

$E_n$  = Tensión al neutro = 127 V

Porcentaje de caída de tensión (e%) = 1.5 (no deberá ser mayor a 3, según 210-19.

Nota 4 de la NOM-001-SEDE-2012 [2]).

$$(5) S = \frac{2(I_n)(L)}{(E_n)(e\%)}$$

$$S = \frac{2(653.1)(22)}{(127)(1.5)} = 160.84 \text{ mm}^2$$

El resultado obtenido se compara con la sección transversal del conductor seleccionado por corriente el cual es 500 MCM, quien tiene una sección transversal de  $150.84 \text{ mm}^2$ , obteniendo en grupo de tres conductores por fase un valor superior, al mínimo requerido de acuerdo al cálculo anterior.

n) Selección de canalización para los cables alimentadores

Para poder determinar el diámetro de la canalización se toma en cuenta la Tabla 12, que es referente a dimensiones de conductores aislados y cables para artefactos y para las dimensiones y porcentajes disponibles de la canalización y no remitir a la parte del tubo conduit rígido de PVC, por consiguiente, se tiene.

Tres conductores calibre 500 MCM para las fases y un conductor el cual tiene un área aproximada de  $450.6 \text{ mm}^2$  por cada conductor; al multiplicar los cuatro conductores tenemos  $1,802.4 \text{ mm}^2$ .

Un conductor calibre 2/0 para tierra física el cual tiene un área aproximada de  $141.3 \text{ mm}^2$ .

Al final tenemos un área aproximada total de  $1,943.7 \text{ mm}^2$ .

En el caso de la tubería conduit de PVC se propone un diámetro de  $103 \text{ mm}^2$  (4"), el cual tiene un área interior total de  $8,901 \text{ mm}^2$ .

o) Cálculo de sistema de tierra

Debido a la importancia de aterrizar a tierra las partes metálicas que normalmente no conducen corriente, pero que en circunstancias de falla pudieran energizarse, se opta instalar un sistema de tierra en la parte del transformador, para limitar sobre tensiones en el equipo eléctrico.

El sistema de tierra cuenta con cuatro varillas cooperweld de  $3,000 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ , unidas entre sí con cable de cobre desnudo calibre 4/0 AWG y unido a la varilla por medio de soldadura exotérmica para tener una sólida conexión.

Las consideraciones superficiales del terreno son bastante favorables, ya que se trata de un terreno con una alta compacidad, esto indica que a mayor compactación existe menos resistividad debido a la eliminación de los espacios de aire que se comportan como elementos aislantes o no conductores; por lo tanto, la resistividad

promedio para este tipo de tierra tiene un valor aproximado aceptable de 25 ohm-metro.

Para esto utilizaremos la fórmula (6) de Laurent - Niemann.

$$(6) R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

Dónde:

R= Resistividad de la malla en  $\Omega$

$\rho$  = Resistividad promedio del suelo en  $\Omega$ -m

L= Longitud total del conductor enterrado en m.

r= Radio de circulo con igual área que es ocupada por la instalación de puesta a tierra.

Datos de proyecto:

$\rho = 25 \text{ ohm-m.}$

L= 68 m

Área= 32 m<sup>2</sup>

El primer paso para obtener la resistividad del terreno se necesita conocer el radio aproximado en metros de una placa circular equivalente, cuya área es la misma que la ocupada por la malla de red de tierra, la fórmula (7) para obtener el radio es la siguiente:

Formula:

$$(7) r = \sqrt{A/\pi}$$

$$r = \sqrt{32/3.1416} = 3.19 \text{ m}$$

Con la determinación del radio, ya contamos con todos los datos necesarios para determinar la resistencia del terreno, así entonces los datos antes mencionados los sustituimos en la fórmula No. 6 de Laurent – Niemann.

$$R = \frac{25}{4(3.19)} + \frac{25}{68}$$
$$R = 1.96 + 0.37 = 2.33 \Omega$$

Por lo tanto, la resistencia total del terreno se encuentra por debajo de lo especificado en la NOM-001-SEDE-2012 [2].

Después de realizar la memoria de cálculo de los equipos de la subestación eléctrica se muestra en la Figura 42, la acometida hacia la subestación eléctrica, donde se marca el recorrido de los alimentadores principales desde el poste de la CFE hasta la subestación eléctrica, así como el arreglo y ubicación de los equipos tales como transformadores, tableros de distribución, equipo de medición y tablero de mediana tensión.

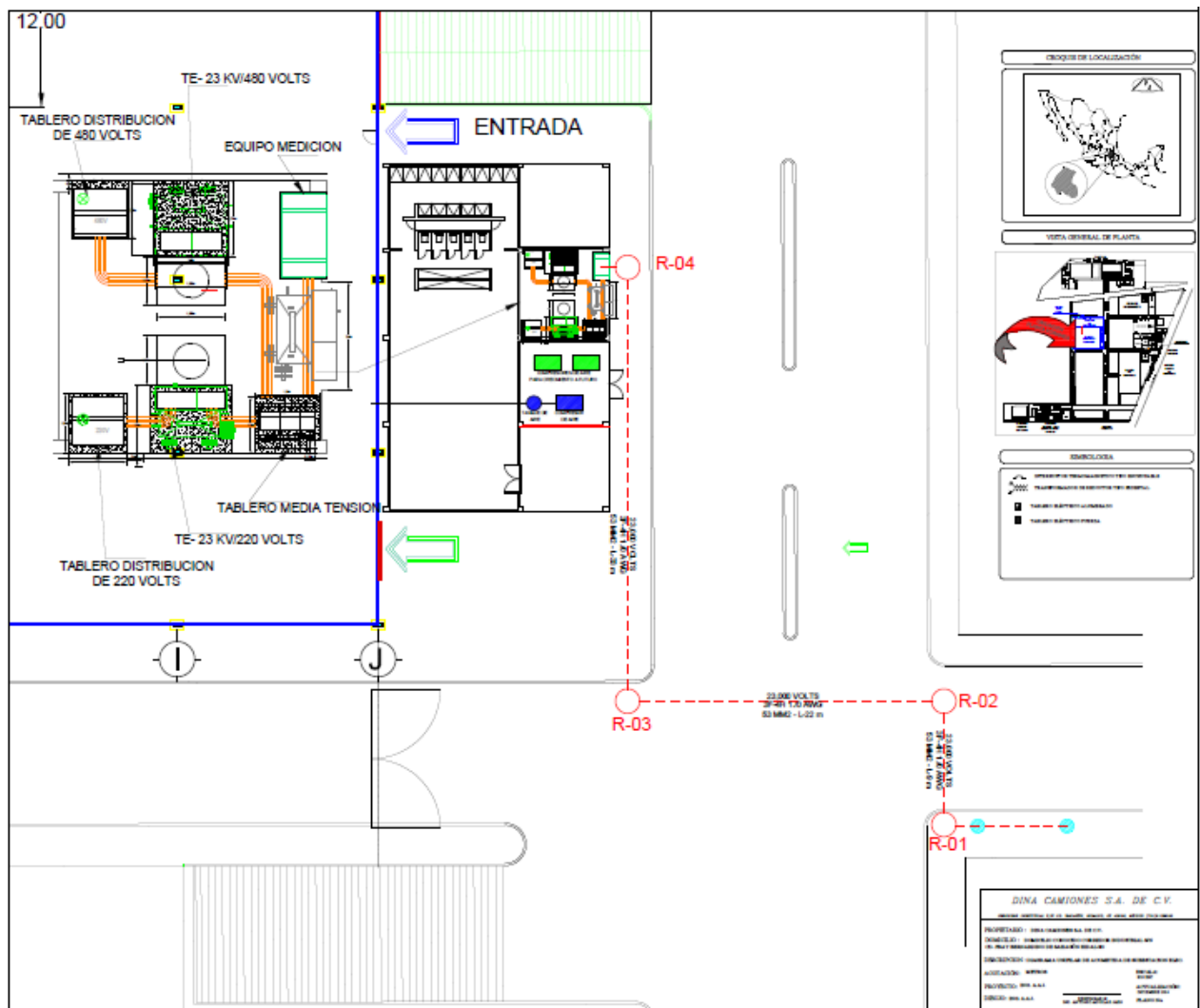


Figura 42. Diagrama unifilar de acometida y arreglo de subestación eléctrica.

### 3.4.1.2 Diseño del sistema eléctrico de fuerza

En la Figura 43 se muestra el diagrama unifilar para dar cumplimiento a la NOM-029-STPS-2011 [3], la cual indica en el inciso 5.3 que se debe “contar con el diagrama unifilar actualizado de la instalación eléctrica del centro de trabajo, con base en lo dispuesto por la NOM-001-SEDE-2012 [2] o las que la substituyan y con el cuadro general de cargas instaladas por circuito derivado, el cual deberá estar disponible para el personal que realice el mantenimiento de dichas instalaciones”.

El diagrama unifilar es una representación gráfica integral y sencilla del sistema eléctrico, en la cual se indican las subestaciones, transformadores, tableros, circuitos alimentadores y derivados, así como la interconexión entre ellos.

De acuerdo a la distribución de planta propuesta, se realiza el diagrama de instalación del sistema eléctrico de fuerza, donde se indica la ubicación de los contactos eléctricos de acuerdo a la ubicación de la maquinaria en sus tres diferentes voltajes 440 V, 220 V y 127 V, tal como se muestra en la Figura 44.

La identificación de la tubería, tableros de distribución, contactos y ductos serán de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012 [2] paginas 32, 354, 998.



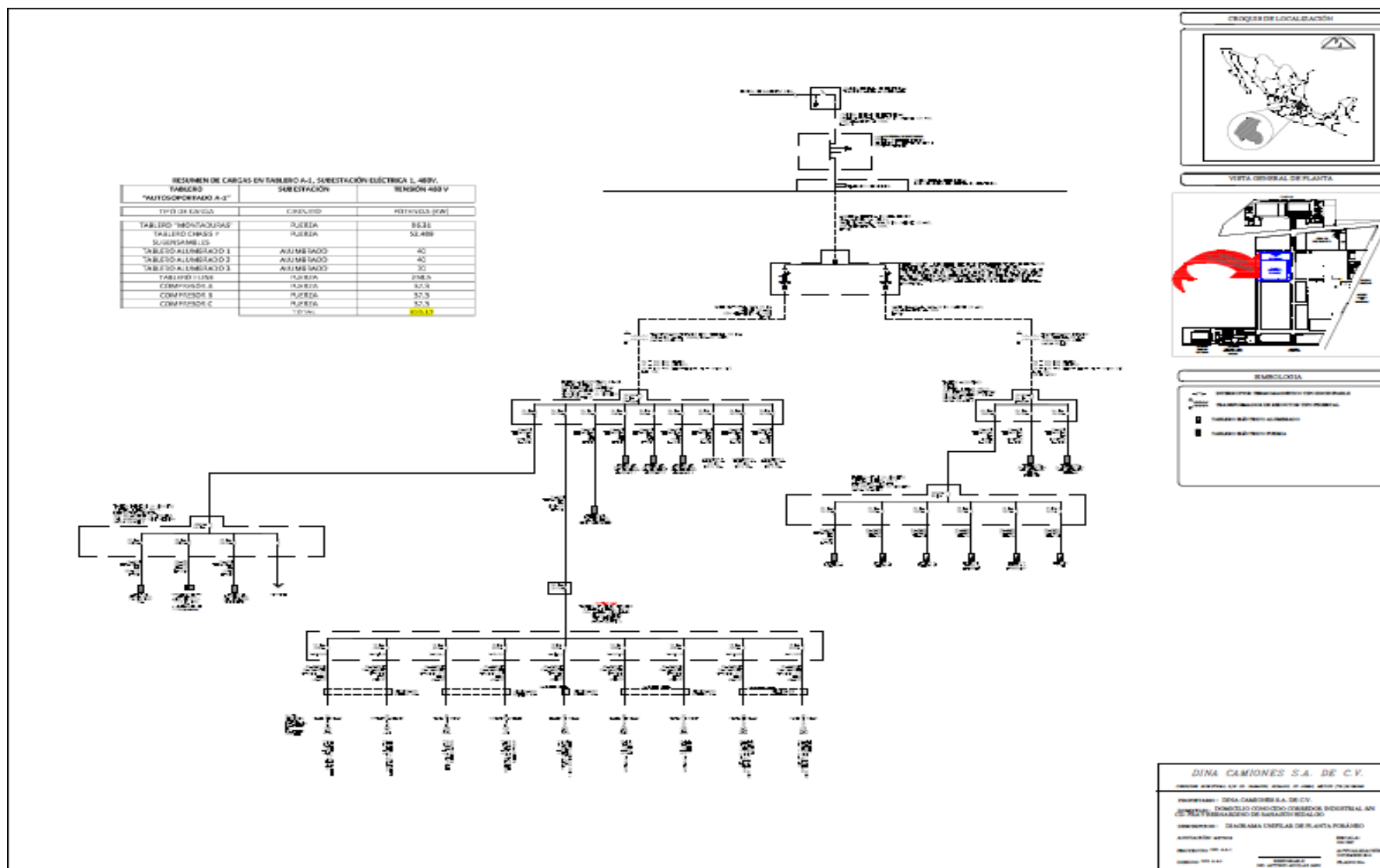


Figura 43. Diagrama unifilar de sistema eléctrico de fuerza.



### 3.4.1.3 Diseño del sistema eléctrico de alumbrado

Para el diseño del alumbrado se utiliza el software Dialux, mediante el cual se selecciona la luminaria y se realiza el cálculo de la cantidad de luminarias que se necesitan para poder alcanzar los niveles de iluminación que se ordena en la NOM-025-STPS-2008 [4] (sección 7), la cual indica que para un área de ensamble se debe tener un mínimo de 500 lx, más sin embargo en el área de detallado de pintura se tiene que reforzar la iluminación para alcanzar los 750 lx que indica la norma para este tipo de áreas de trabajo.

Para lograr los niveles de iluminación que indica la norma y de acuerdo al software Dialux se selecciona la siguiente luminaria:

- Cooper Lighting- Lumark MPSS-SA18-M-320 High Bay.
- Flujo luminoso (luminaria): 27,530 lm
- Flujo luminoso (lámpara): 33,000 lm
- Potencia de luminarias: 350 W
- Potencia de lámpara: 320 W
- Cantidad de luminarias: 288 piezas.
- Altura de montaje: 6.0 m

Su instalación deberá cumplir igualmente con la NOM-001-SEDE 2005[2] (Capítulo 3).

Así mismo se instalará un circuito de alumbrado de emergencia para, en el caso de que se tenga una interrupción en la energía eléctrica, estas luminarias de emergencia se enciendan e iluminen únicamente los pasillos y salidas de la planta.

En la Figura 45, se presenta la distribución de las luminarias de acuerdo al proceso de manufactura para esta nave.

Así mismo se muestra en la Figura 46, los niveles de iluminación indicados en Luxes que se alcanzarían con este diseño de distribución de luminarias utilizando el simulador del software Dialux y abarcando todas las áreas de la planta de ensamble, dándole más iluminación a las áreas donde el proceso lo demande.

Por ultimo en la figura 47 se muestra una representación en 3D, de lo que sería la instalación de este alumbrado al interior de la línea de ensamble.

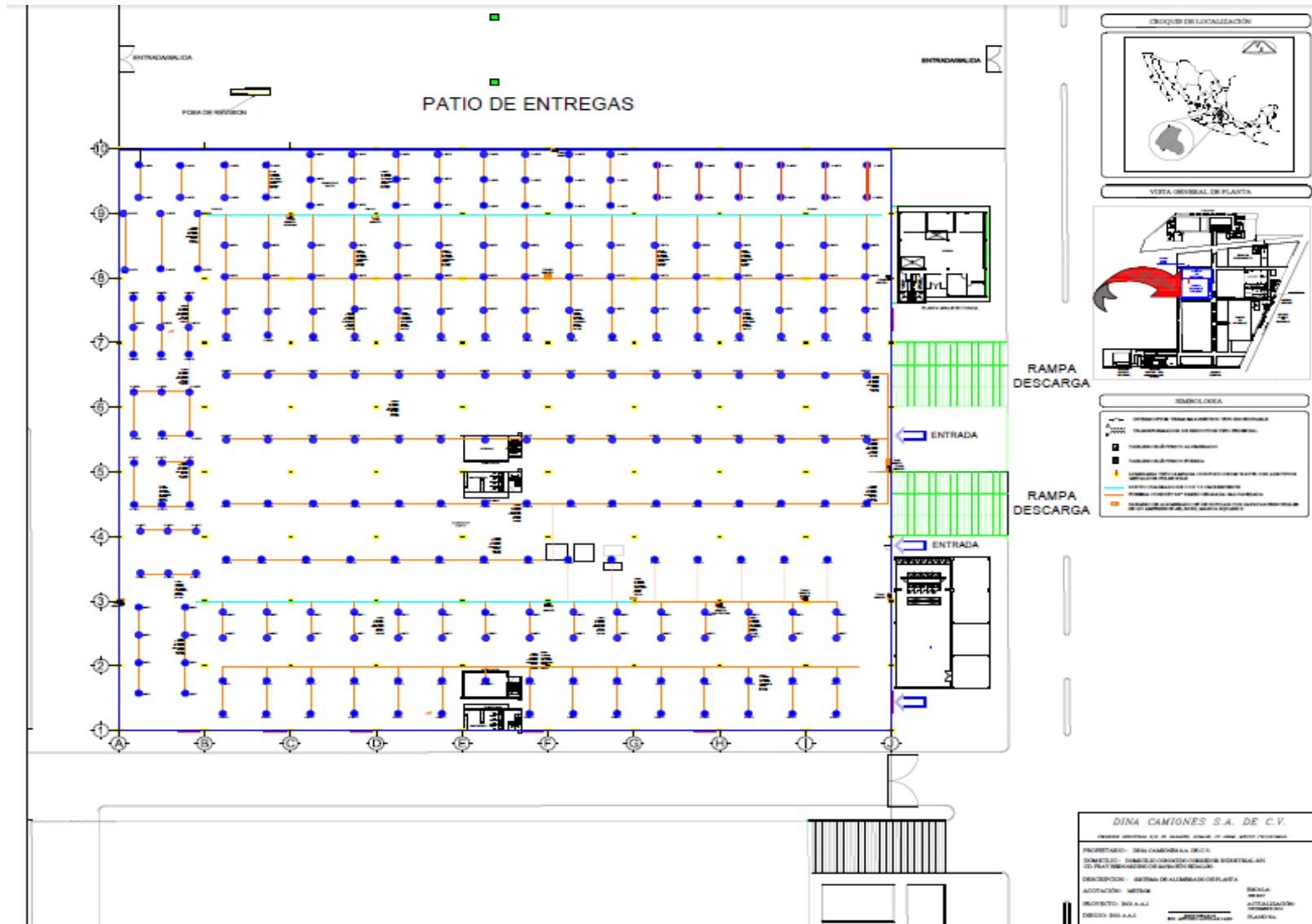


Figura 45. Plano de sistema eléctrico de alumbrado.

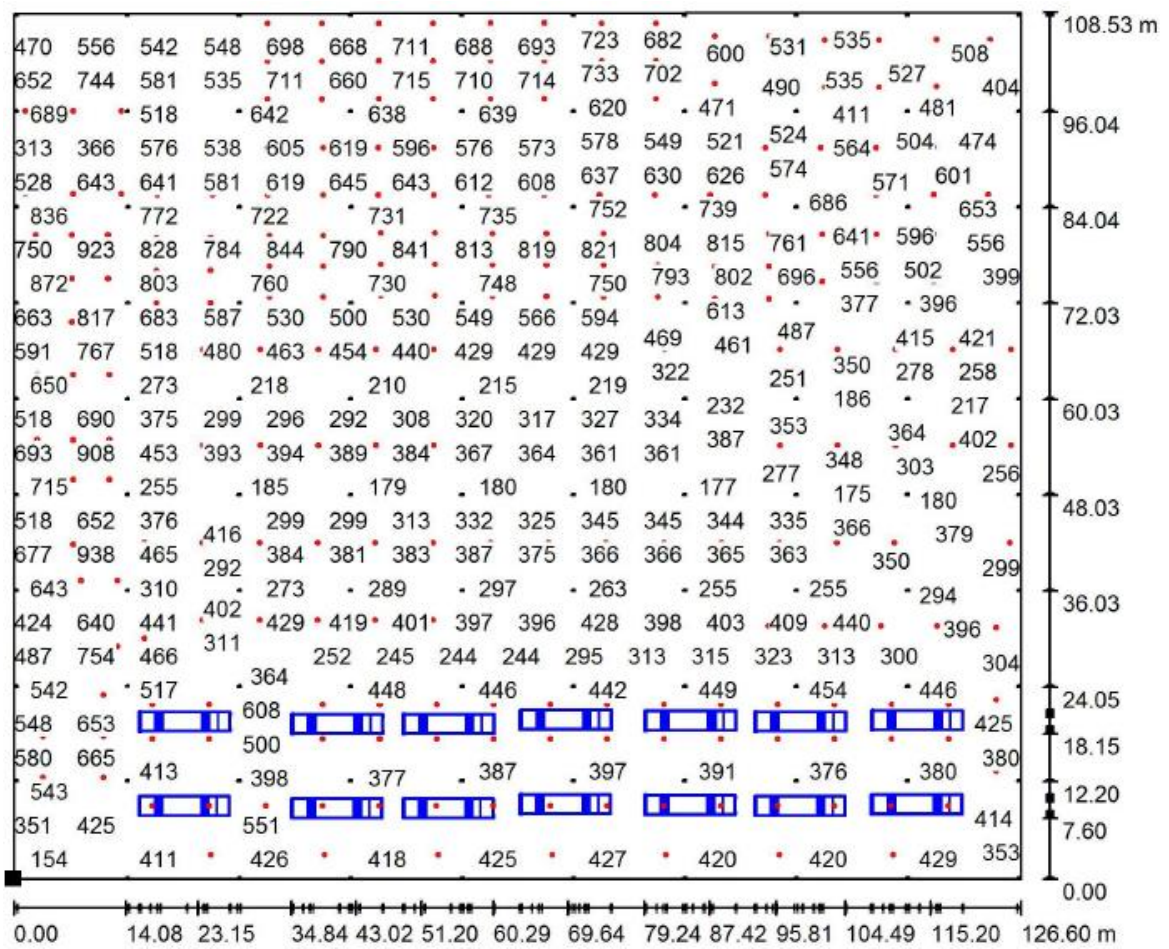


Figura 46. Niveles de iluminación indicadas en luxes, software Dialux.



Figura 47. Representación en 3D, utilizando software Dialux.

#### 3.4.1.4 Diseño del sistema de tierras físicas

Se instalará un sistema de puesta a tierra basado en los principios y recomendaciones de las siguientes normas: NOM-022-STPS-2008 [5], NOM-001-SEDE 2012 [2].

##### Materiales:

Estos serán: en tipo, construcción y aleación, los recomendados por las normas indicados en el párrafo anterior.

##### Mallas de puesta a tierra:

De acuerdo con la cantidad y el modelo indicado en las normas, se instalará el número requerido de mallas de puesta a tierra para aterrizar de manera confiable los equipos alojados en los bastidores de distribución intermedia y drenar las corrientes inducidas. Las mallas son armadas por retículas de conductores de tierra desnudos calibre 4/0 AWG instalados en forma horizontal a 60 cm bajo nivel de terreno, complementada con electrodos de puesta a tierra ubicados en las esquinas de la misma; los cruces de los conductores se unen entre sí utilizando conexiones soldables Cadweld.

##### Fijaciones:

Las abrazaderas para fijar los cables serán del mismo material que estos, suficientemente fuertes para soportar los conductores, se instalarán a una distancia de 90 cm. una de otra de acuerdo a la norma. En instalaciones que requieran protección del conductor, se fijara con abrazaderas y/o accesorios especiales según sea el caso, como se muestra en las Figuras 48 y 49.

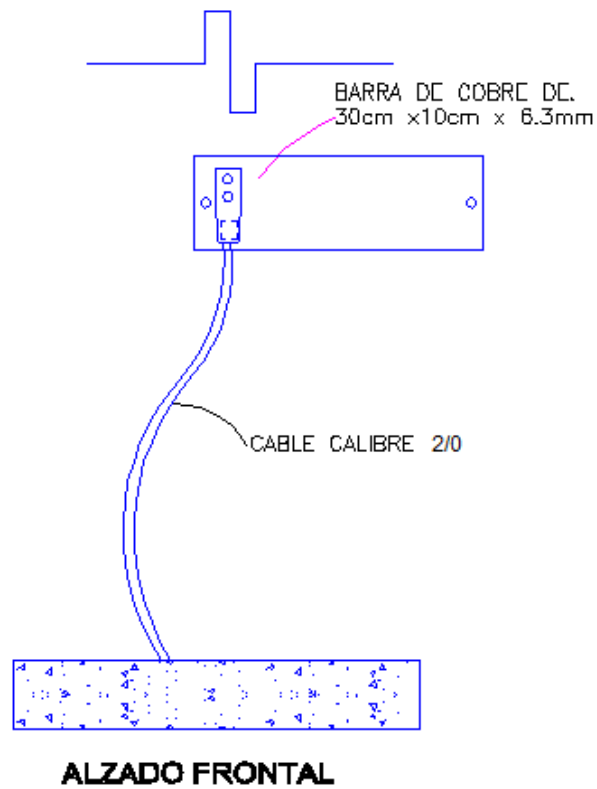


Figura 48. Sistema de fijación, vista frontal.

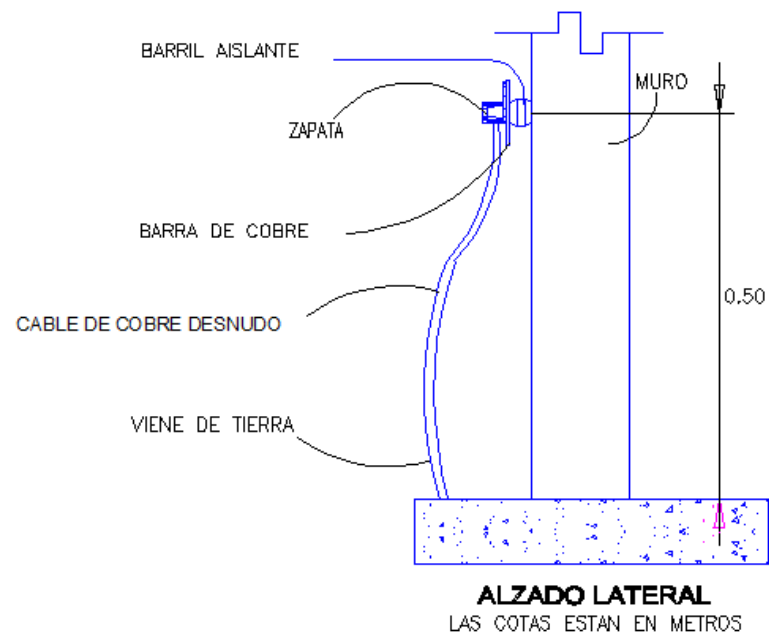


Figura 49. Sistema de fijación lateral.

Conexión a tierra:

Las conexiones a tierra se harán por medio de electrodos (tipo rehilete), para conseguir en condiciones normales, un valor de la resistencia a tierra dentro de las normas referidas, siendo la máxima permitida de 25 Ohm, como se muestra en la Figura 50.

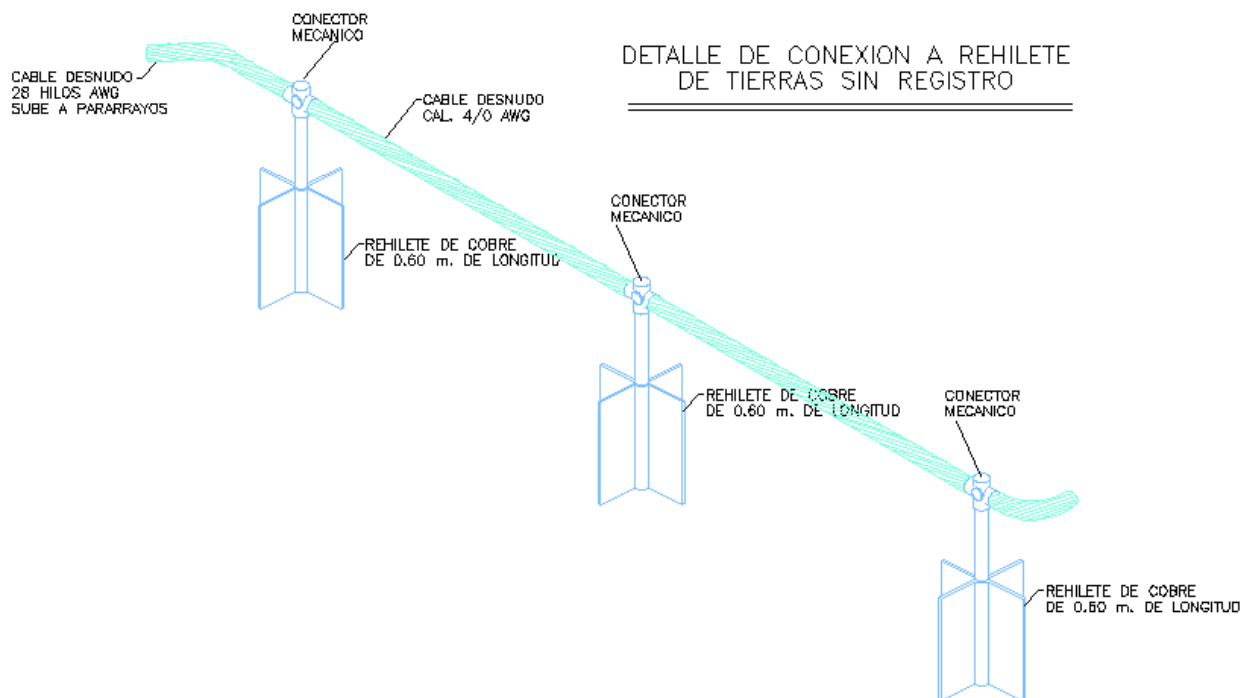


Figura 50. Electrodos tipo rehilete, vista isométrica.

En caso de que las condiciones del terreno originen valores superiores a los recomendados, serán necesarios trabajos adicionales para mejorar las condiciones del terreno, por las cuales formularemos, en su caso presupuesto por separado.

Instalación:

Los electrodos serán instalados 1.30 m bajo nivel de terreno unidos por cable desnudo calibre 4/0 y colocado en zanjas de dimensiones mostradas en la Figura 51.



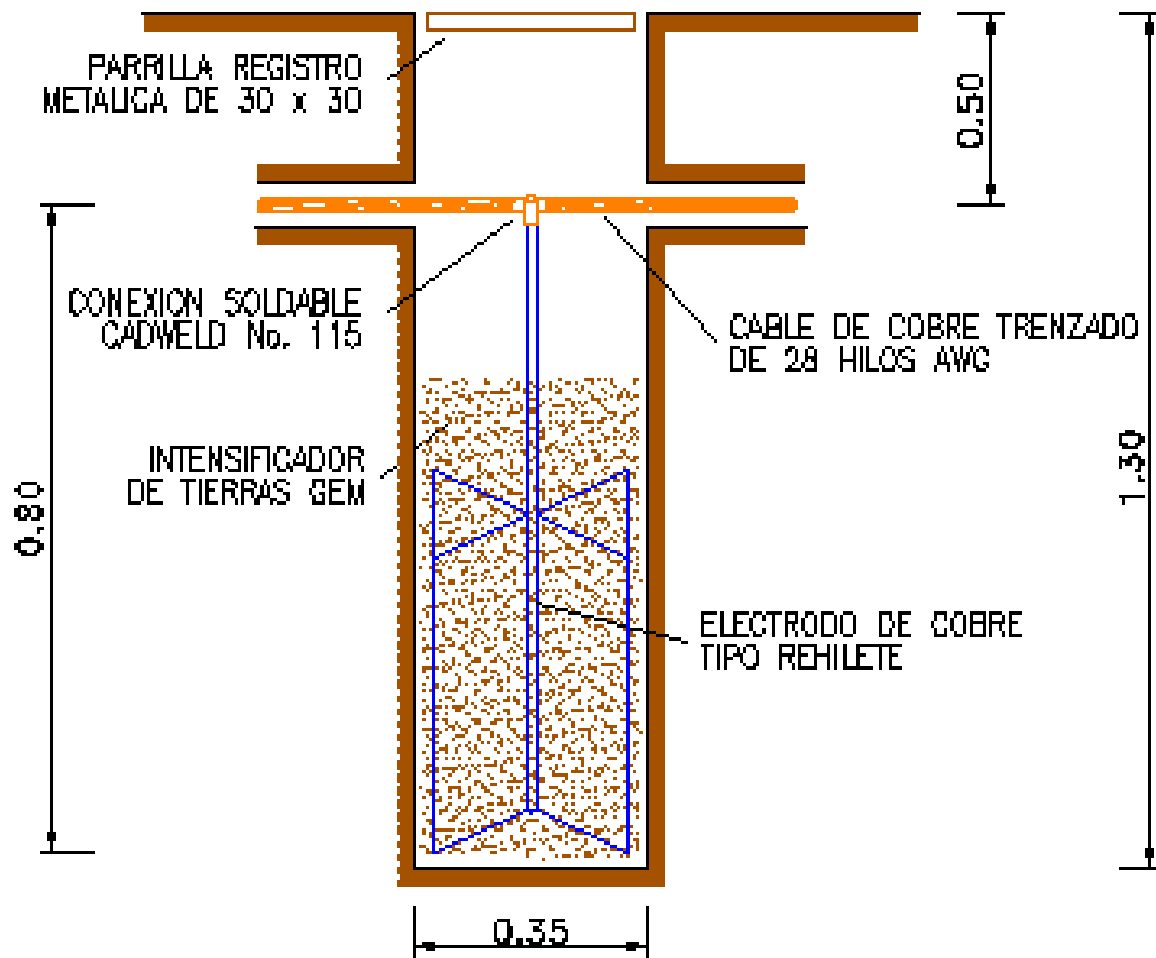


Figura 51. Electrodo tipo rehilete, vista lateral.

A continuación, se indica en la Figura 52, el diagrama de instalación del sistema de tierras físicas en todo el perímetro de la planta de ensamble de acuerdo a la NOM-022-STPS-2008 [5] y NOM-001-SEDE 2012 [2].

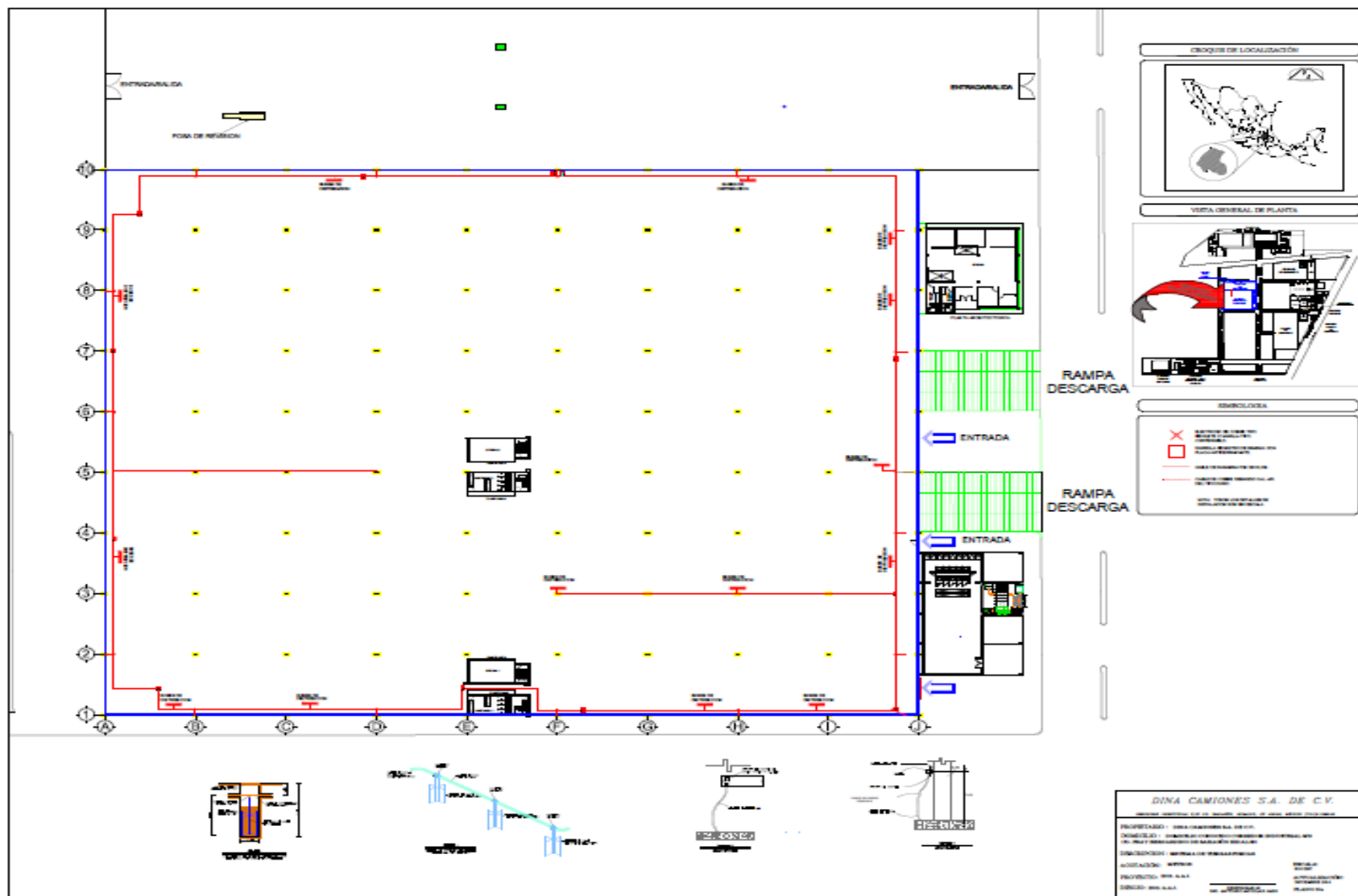


Figura 52. Plano de sistema de tierras físicas.

#### 3.4.1.5 Diseño del sistema de pararrayos ionizante

Se instalará un sistema de protección basado en los principios y recomendaciones de la norma FRANCESA NFC 17-102 de la U.T.E. "UNION TECHNIQUE DEL 'ELECTRICITE "y miembro de la E.D.F. "ELECTRICIDE DE FRANCE". También basados en las normas NOM-022-STPS-2008 [5], NFPA-780, IEC 1024-1 1, NOM-001-SEDE 2012 [2], NMX-J549 ANCE 2005.

- Materiales:

Estos serán: en tipo, construcción y aleación, los recomendados por los organismos y normas indicados en el párrafo anterior.

- Mástiles y puntas ionizantes:

De acuerdo con la cantidad y el modelo indicado en la propuesta anexa, se proporcionará e instalará el número requerido de puntas tipo ionizantes, sobre las partes más elevadas de la construcción, de la marca Franklin-France. Las puntas serán montadas en mástiles de acero inoxidable, tendrán sus bases adecuadas a la superficie donde se coloquen, sujetándose fuertemente a la misma.

- Conductores:

El conductor consistirá en un cable de cobre comercialmente puro, diseñado y construido especialmente para pararrayos, formado por 28 hilos con un diámetro aproximado de 13 mm.

- Bajadas a tierra:

El número requerido de conductores de bajada y estos deberán ser lo más directos posibles (trayectorias rectas).

- Fijaciones:

Las abrazaderas para fijar los cables serán del mismo material que estos y suficientemente fuertes para soportar los conductores, instalándose a una distancia de 90 cm. una de otra de acuerdo a la norma. En instalaciones que requieran protección del conductor, se fijara con abrazaderas y/o accesorios especiales según sea el caso.

- Puesta a tierra.

Las conexiones a tierra se harán por medio de electrodos (rehilete de cobre), para conseguir en condiciones normales, un valor de la resistencia a tierra dentro de las normas referidas, siendo la máxima permitida de 10 Ohm.

En caso de que las condiciones del terreno originen valores superiores a los recomendados, serán necesarios trabajos adicionales para mejorar las condiciones del terreno, por las cuales formularemos, en su caso presupuesto por separado.

NOTA: Todas las interconexiones se harán por medio de conexiones soldables marca Cadweld.

### **3.4.2 Diseño del sistema de aire comprimido de la planta**

Un energético importante en muchas industrias es el aire comprimido, el cual se utiliza para hacer funcionar herramientas manuales (taladros, remachadoras, lijadoras, esmeriles etc.) además se utiliza en el proceso de pintura. Es muy utilizada esta forma de energía debido a que es segura, fiable y a un bajo costo en los procesos de producción. Tomando en cuenta la distribución de planta, la maquinaria que se instalara y el flujo del proceso, se propone la red neumática que se muestra en la Figura 53.

De la Figura 53 y de acuerdo a la cantidad de herramienta neumática que se utilizará en esta línea de ensamble, se procede a dimensionar la tubería, compresor de aire comprimido y tanque que deberán instalarse en la planta de ensamble.

En la Tabla 15, se muestra los consumos de aire comprimido de la herramienta neumática más común que se utilizara en el proceso de producción.



Figura 53. Red de aire comprimido.

Tabla 15. Consumos de aire por tipo de herramienta.

| <b>Tipo de herramienta</b> | <b>Cantidad por toma de aire</b> | <b>Total</b> | <b>Consumo unitario (SCFM)</b> | <b>Consumo total (SCFM)</b> |
|----------------------------|----------------------------------|--------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Pulidora                   | 1                                | 40           | 10                             | 400                         |
| Remachadora                | 1                                | 100          | 5                              | 500                         |
| Taladro                    | 1                                | 100          | 5                              | 500                         |
| Llave de impacto           | 1                                | 10           | 5                              | 50                          |
| Pistola para pintura       | 2                                | 20           | 5                              | 200                         |
|                            |                                  |              | <b>Total de consumo</b>        | <b>1650</b>                 |

Datos:

|  |       |
|--|-------|
| Número de tomas de aire en toda la planta.                     | 270   |
| Número de tomas de aire en cabinas de pintura.                 | 6     |
| Total de consumo en SCFM (Tabla 15).                           | 1650  |
| Factor de utilización.   | 0.45  |
| Consumo estimado en SCFM.                                      | 742.5 |
| Factor de corrección cd. Sahagún vs nivel del mar.             | 0.78  |
| Distancia máxima de estación de compresión a punto más lejano. | 230 m |

De lo anterior se selecciona un compresor de capacidad de 112 kW del tipo tornillo con una entrega de flujo de 24,070 L/min a una presión de operación de 758 kPa y un tanque de almacenamiento de aire de 5,000 L, cumpliendo con NOM-020-STPS-2011 [6].

De la Tabla 16 se obtiene que para los siguientes datos:

- a) Consumo de 24,070 L/min.
- b) Longitud equivalente de 230 m, que en este caso se toma la inmediata superior que es de 300 m.
- c) Caída de presión del 5%.
- d) Presión máxima de operación de 758 kPa.

Se obtiene una tubería de 76 mm, pero por cuestión de un posible crecimiento en la infraestructura de la planta de un 25%, se toma el siguiente diámetro que es de 100 mm para el circuito principal, de 63 mm para los ramales secundarios y de 25 mm para las derivaciones hacia las tomas de aire.

Tabla 16. Tabla para la selección de la tubería de aire.

| Flow rate |        |      | Length |       |       |       |        |        |        |        |        |        | Comp.<br>(hp) |
|-----------|--------|------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
|           |        |      | 164ft  | 328ft | 492ft | 984ft | 1640ft | 2460ft | 3280ft | 4265ft | 5249ft | 6561ft |               |
| Nm³/hr    | NI/min | cfm  | 50m    | 100m  | 150m  | 300m  | 500m   | 750m   | 1000m  | 1300m  | 1600m  | 2000m  |               |
| 10        | 167    | 6    | 16.5   | 16.5  | 16.5  | 16.5  | 16.5   | 16.5   | 16.5   | 25     | 25     | 25     | 2-10          |
| 30        | 500    | 18   | 16.5   | 16.5  | 16.5  | 25    | 25     | 25     | 25     | 25     | 25     | 40     |               |
| 50        | 833    | 29   | 16.5   | 25    | 25    | 25    | 25     | 25     | 40     | 40     | 40     | 40     | 10-40         |
| 70        | 1167   | 41   | 25     | 25    | 25    | 25    | 40     | 40     | 40     | 40     | 40     | 63     |               |
| 100       | 1667   | 59   | 25     | 25    | 25    | 40    | 40     | 40     | 40     | 40     | 40     | 63     |               |
| 150       | 2500   | 88   | 25     | 40    | 40    | 40    | 40     | 40     | 40     | 63     | 63     | 63     |               |
| 250       | 4167   | 147  | 40     | 40    | 40    | 40    | 63     | 63     | 63     | 63     | 63     | 63     |               |
| 350       | 5833   | 206  | 40     | 40    | 40    | 40    | 63     | 63     | 63     | 63     | 63     | 76     |               |
| 500       | 8333   | 294  | 40     | 40    | 63    | 63    | 63     | 63     | 63     | 76     | 76     | 76     | 40-100        |
| 750       | 12500  | 441  | 40     | 63    | 63    | 63    | 63     | 76     | 76     | 76     | 76     | 100    |               |
| 1000      | 16667  | 589  | 63     | 63    | 63    | 63    | 63     | 76     | 76     | 100    | 100    | 100    |               |
| 1250      | 20883  | 736  | 63     | 63    | 63    | 63    | 63     | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100-425       |
| 1500      | 25000  | 883  | 63     | 63    | 63    | 76    | 76     | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |               |
| 2000      | 33333  | 1177 | 63     | 76    | 76    | 76    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |               |
| 2500      | 41667  | 1471 | 63     | 76    | 76    | 76    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |               |
| 3000      | 50000  | 1766 | 76     | 76    | 100   | 100   | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |               |
| 3500      | 58333  | 2060 | 76     | 76    | 100   | 100   | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |               |
| 4000      | 66667  | 2354 | 76     | 100   | 100   | 100   | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | >425          |
| 4500      | 75000  | 2649 | 76     | 100   | 100   | 100   | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |               |
| 5000      | 83333  | 2943 | 76     | 100   | 100   | 100   | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |               |
| 5500      | 91667  | 3237 | 100    | 100   | 100   | 100   | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |               |
| 6000      | 100000 | 3531 | 100    | 100   | 100   | 100   | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |               |

Se proyecta un sistema modular de tubería de aluminio del tipo Smart pipe, en toda la red de aire, la cual tiene varias ventajas con respecto a la tubería galvanizada utilizada durante muchos años en la industria.

A continuación se mencionan las ventajas de este sistema de acuerdo a cada factor mencionado:

- Condiciones de Operación: Rendimiento continuo con presión atmosférica de 7.0 bars, a 85 °C y una temperatura mínima de -20 °C con un factor de seguridad de tres. Es importante subrayar que el rendimiento debe ser continuo desde el principio a partir de la presión atmosférica para garantizar la eficiencia y una buena estanqueidad incluso durante fases de carga y descarga de los compresores.
- La tubería de aluminio garantiza ausencia de corrosión, lo que ofrece una mayor calidad del aire, así como un incremento en la longevidad de los equipos y tubería.
- Esta tubería ofrece un bajo coeficiente de rozamiento del tubo de aluminio, así como una buena estanqueidad del sistema, asegurando un caudal óptimo y constante a todos los equipos conectados a la red.
- La ventaja de este sistema es la modularidad del sistema, lo que significa que una vez instalada la tubería, pueda en un futuro ser adaptada a los cambios en el proceso de manufactura, por lo que se tiene la posibilidad de montar y desmontar las conexiones y la tubería radialmente, así como la de realizar perforación bajo presión para añadir bajadas de aire sin paradas en la producción.

Se propone para esta red de aire comprimido una tubería de aluminio AW-6060 con un tratamiento T-51, en color azul y la conformidad de la aleación se da por tres aspectos que corresponden con tres normas diferentes:

1. La composición química está dada por la norma ASTM B241.
2. La conformidad del tratamiento térmico por la ISO 2107.
3. Las características mecánicas por la EN 755-2.

La identificación de la tubería deberá ser de acuerdo a la NOM 026-STPS-2008 [7] y de acuerdo a la Tabla 17. Además debemos recordar que el aire comprimido conducido por tubería, es considerado un fluido peligroso.



Tabla 17. Colores de seguridad para tuberías y su significado [7].

| Color de seguridad | Significado   |
|--------------------|---|
| Rojo               | Identificación de fluidos para el combate vs incendio conducidos por tubería. |
| Amarillo           | Identificación de fluidos peligrosos conducidos por tubería.                  |
| Verde              | Identificación de fluidos de bajo riesgo conducidos por tubería               |

Pero como en este caso la tubería es de color azul de fábrica, la norma te permite identificarla con bandas de identificación en relación al diámetro de la tubería, como se indica en la Tabla 18.

Tabla 18. Dimensión de bandas de identificación en relación al diámetro de tubería [7]

| Diámetro exterior de tubo  | Ancho mínimo de la banda de identificación |
|----------------------------|--|
| Hasta 38 mm.               | 100 mm.                                    |
| Más de 38 mm hasta 51 mm.  | 200 mm.                                    |
| Más de 51 mm hasta 150 mm. | 300 mm.                                    |
| Más de 150 hasta 250 mm.   | 600 mm.                                    |
| Más de 250 mm.             | 800 mm.                                    |

- A continuación, se muestra en la Figura 54, un ejemplo de las bandas de identificación para la tubería de aire comprimido, donde se muestra las siguientes características: Tipo de fluido que se maneja, presión del fluido, dirección del fluido y color de identificación.



Figura 54. Identificación de tubería de aire [26].

En la Figura 55 se presenta una vista parcial de la red de aire en 3D en el área de carrocerías específicamente el área de montaduras, desarrollada en el software de diseño AutoCAD, lo que ayuda a visualizar como sería la instalación antes de su construcción.

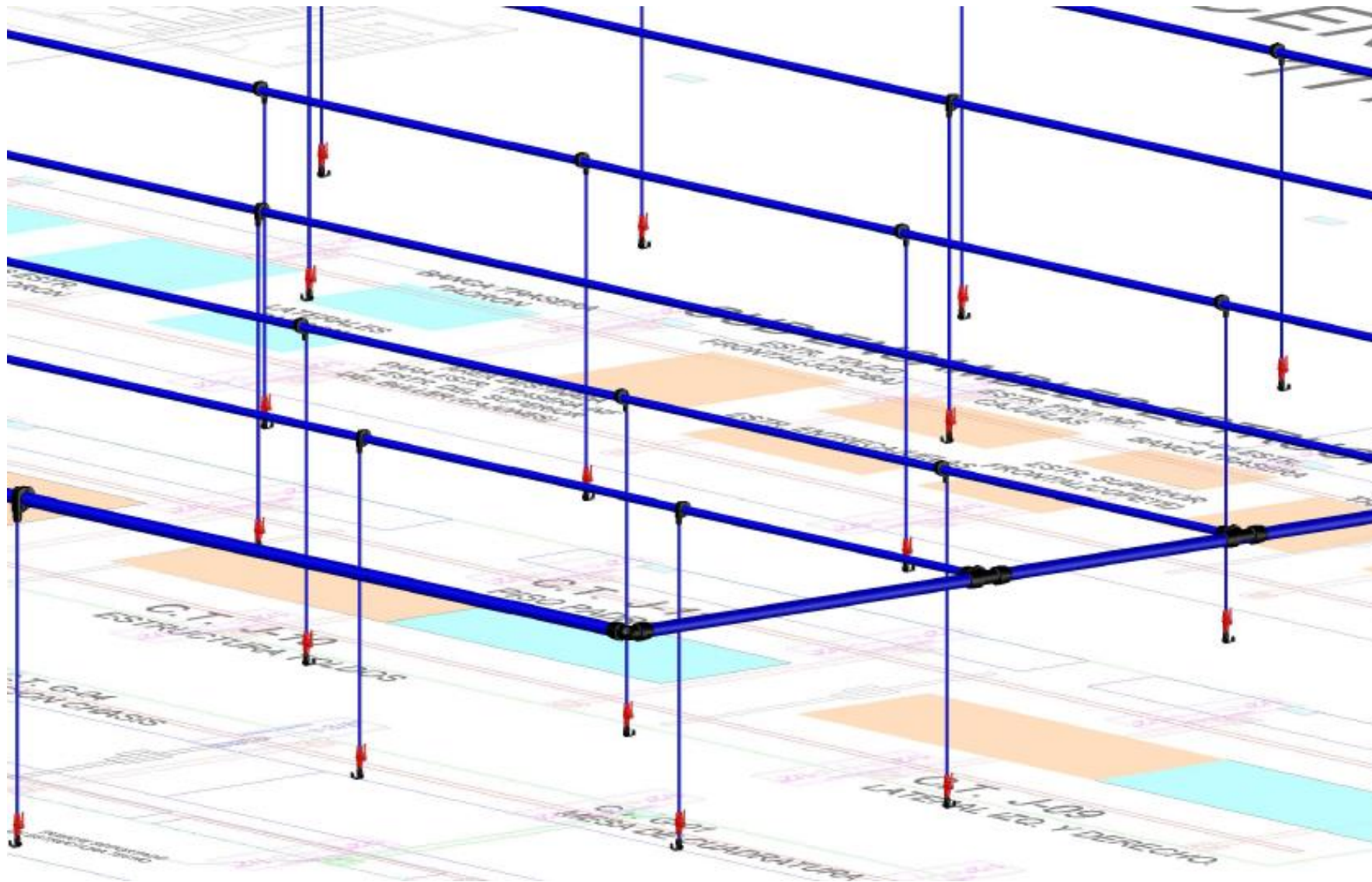


Figura 55. Red de aire comprimido en 3D.

### 3.4.3 Diseño de grúas viajeras en área de estructuras y chasis.

Para el proceso de producción de la estructura y chasis del autobús, se deberá utilizar un sistema de grúas viajeras del tipo apoyada en cada línea, para poder realizar el manejo de sub ensambles y chasis para así poder ensamblar la estructura sobre el chasis, por lo que se diseña un sistema de grúas a lo largo de todos estos procesos que cumple las normas NOM-006-STPS-2000 [8] y NOM-001-SEDE-2012 [2] en su construcción y operación.

Las dimensiones del sistema de grúas a instalar deberán ser de acuerdo a la estructura de mayor dimensión y peso que se cargara en este proceso y que en este caso es la del modelo Buller, a continuación, se indican las características generales de la grúa:

- Capacidad nominal de la grúa: 2500 kg.
- Claro de grúa: 6.5 m.
- Altura máxima del piso al gancho: 6.0 m.
- Recorrido total: 86.25 m.
- Tipo de puente: Monorriel
- Tipo de polipasto: Eléctrico de cadena de capacidad de 2500 kg.
- Clase de servicio "C" según la Crane Manufacturers Association of America (C.M.A.A.) y la National Electrical Manufacturers Association (NEMA)

Características de componentes del sistema de grúas:

1. Cadena: Deberá ser de acero templado altamente resistente a la tracción y al envejecimiento, con factor de seguridad 6 y de grado 80.
2. Puente: Su diseño deber ser calculado de acuerdo a su capacidad de 2500 kg y los requerimientos de diseño sobre la torsión y flexión marcados en DIN 15018 (grupo de sollicitación B3 y clase de utilización H2) y a IMCA. La deflexión máxima permisible de la viga no deberá exceder 1/1000 del claro y la soldadura aplicada deberá ser de acuerdo a la norma AWS (sección edificio de acero).
3. Columnas de estructura: Se instalaron 26 columnas como lo indica la Figura 57 a una distancia de 7 m entre ellas en material de Hollow Square Section (HSS) de 12".
4. Obra civil: Se fabricaron zapatas de cimentación para las 26 columnas de HSS.

5. Sistema de electrificación principal: La alimentación eléctrica a lo largo de todo el recorrido de la grúa es por medio de barra conductora del tipo Duct-O-Wire de 100 A.

6. Sistema de electrificación secundario (puente): Esta alimentación será por medio de un sistema de riel y cable tipo Festoon.

7. Polipasto: La selección del polipasto será de acuerdo a la capacidad de carga requerida desde un inicio y en este caso será de 2500 kg y deberá tener carro de traslación transversal. La clase de uso deberá ser H4, la que refiere un factor efectivo de carga de 0.65, con un número máximo de 300 arranques por hora y periodos de trabajo de 30 minutos por hora distribuidos uniformemente.

8. Botonera: La botonera deberá ser colgante e independiente de seis movimientos para poder controlar el movimiento longitudinal, transversal y vertical. Por normatividad deberá tener paro de emergencia del tipo push-pull.

9. Clase de servicio de la grúa en su conjunto: De acuerdo a C.M.A.A. y NEMA, hay seis clasificaciones, desde la de uso esporádico clase "A" hasta la de uso continuo y severo de clase "F", pero la mayoría de las grúas de uso industrial se clasifican como clase "C" o clase "D". Es una práctica generalizada en la industria de las grúas instalar equipos de clase "C" a menos que el cliente indique lo contrario. Las grúas de la clase "C" son de servicio moderado con cargas promedio que alcanzan el 50% de su capacidad de cinco a diez izajes por hora con un promedio de 4.6 m por izaje y no más de 50% de izajes a la capacidad nominal y sus aplicaciones son las siguientes:

- Fabricación de estructuras metálicas livianas.
- Talleres de maquinaria.
- Cargue y descarga de máquinas con moldes, troqueles o herramientas.

Por lo anterior y por la aplicación que se dará a la grúa, se elige la clase de servicio "C"

10. Trabe carril: Se propone una viga "I" W-12"X12 de acero estructural ASTM de patín ancho, de peso de 30 lbs. /ft., a continuación se presenta la memoria de cálculo para esta viga.

Para obtener la viga correcta, primeramente se obtienen algunos datos de acuerdo a la capacidad de diseño de la grúa. De acuerdo a Figura 56 se comienza con el cálculo de la viga para la trabe carril.

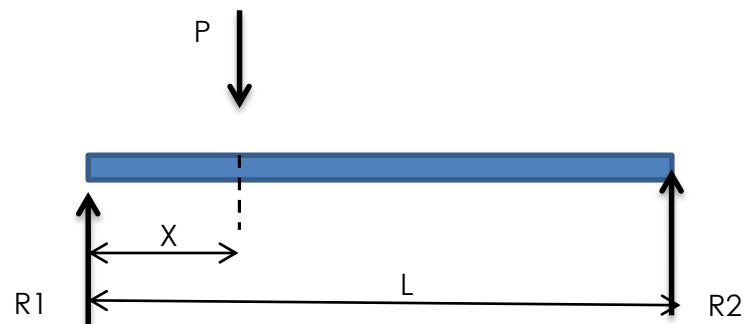


Figura 56. Ilustración de viga de carga

Si:  $X = 0$  entonces,  $R_1 = P$

Si:  $X = 0.5 L$ ; entonces, se obtiene la formula (8)

$$(8) \quad M_{\text{máx.}} = \frac{P \times L}{4}$$

Datos:

$M_{\text{MAX}}$  = Momento máximo de flexión

$P$  = Capacidad de carga de diseño de la grúa = 3 t

$L$  = Longitud de Viga (claro de grúa) = 7.0 m (700 cm)

$d$  = Altura de grúa =  $L/25 = 28$

$d = 28$ , pero usaremos  $d = 30.5$  cm que es una viga más comercial.

Elementos mecánicos:

$$R_1 = 1500 \text{ kg}$$

$$(8) \quad M_{\text{MAX}} = (P \times L)/4 = (3.0 \times 7)/4 = 5.25 \text{ t-m} = 525,000 \text{ kg-cm.}$$

De acuerdo con estos primeros datos se propone una Viga "I" W 12X30 en acero ASTM A-36 con un esfuerzo a la fluencia de  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  con las siguientes dimensiones y propiedades, plasmadas en la Tabla 19 y Figura 57.

Tabla 19. Dimensiones y propiedades mecánicas de viga seleccionada

|        |              |
|--------|--------------|
| Sx     | 547 cm³      |
| d      | 31.3 cm      |
| bf     | 16.6 cm      |
| tw     | 0.66 cm      |
| Ixx    | 9906 cm⁴     |
| d/tw   | 47.4, > 42.8 |
| bf/2tf | 7.4 < 10.8   |
| tf     | 1.12 cm      |

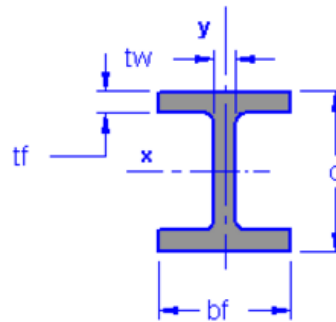


Figura 57. Dimensiones de viga.

Se procederá a comprobar la relación máxima (ancho-espesor) de la viga seleccionada de acuerdo con especificaciones de DEP-IMCA [42], Secciones 1.9.1 y 1.9.2 con las siguientes formulas:

De acuerdo a la formula (9) se calcula la relación de diseño d/tw.

$$(9) \quad d/tw = \frac{2154}{\sqrt{F_y}}$$

Datos:

$F_y$  = esfuerzo a la fluencia = 2530 kg/cm²

$$d/tw = \frac{2154}{\sqrt{2530}}$$

Puesto que  $d/tw = 42.8$  y es menor que 47.4 valor indicado en la tabla de propiedades mecánicas de la tabla es correcto este factor para el diseño de la viga.

De acuerdo a la formula (10) se calcula la relación de diseño  $bf/2tf$ .

$$(10) \text{ bf}/2\text{tf} = \frac{545}{\sqrt{F_y}}$$

Datos:

$F_y$  = esfuerzo a la fluencia = 2530 kg/cm<sup>2</sup>

$$\text{bf}/2\text{tf} = \frac{545}{\sqrt{2530}}$$

Puesto que  $\text{bf}/2\text{tf} = 10.8$  y es mayor que 7.4 valor indicado en la tabla de propiedades mecánicas de la tabla, es correcto este factor para el diseño de la viga.

Se procede a calcular el esfuerzo permisible de flexión de la formula (11) de acuerdo con [42], Sección 1.5-5a.

Datos:

$F_y$  = esfuerzo a la fluencia = 2530 kg/cm<sup>2</sup>

Relación  $\text{bf}/2\text{tf} = 10.8$

$$(11) F_b = F_y [0.79 - 0.00024 (\text{bf}/2\text{tf}) \sqrt{F_y}]$$

$$F_b = 2530 [0.79 - 0.00024 (10.8) \sqrt{2530}]$$

$F_b = 1669.041 \text{ kg/cm}^2$

Siguiendo con el análisis se calcula el esfuerzo por compresión producido por la flexión mediante la fórmula (12).

$$(12) f_b = \frac{M_{\text{MAX}}}{S_X}$$

Datos:

$M_{\text{MAX}}$  = Momento máximo de flexión = 525,000 kg-cm

$S_X$  = Momento estático = 547 cm<sup>3</sup>

$$f_b = \frac{525,000}{547}$$

$f_b = 959 \text{ kg/cm}^2$

Cuando se cumple la condición de que  $f_b/F_b = 1.0$ , de acuerdo a [42] se tiene el máximo esfuerzo de flexión permisible, pero en este caso se tiene la siguiente relación:

$f_b = 959 \text{ kg/cm}^2$

$F_b = 1669.041 \text{ kg/cm}^2$

$$f_b/F_b = 0.5745 < 1.0$$

Y puesto que este factor es menor a 1.0 se cumple con esta condición de diseño.

Además de lo anterior y de cumplir igualmente con las condiciones de diseño con respecto a las relaciones ancho-espesor y esfuerzo de flexión, se deduce que esta viga W12X30 en acero ASTM A-36 es adecuada para la carga que se busca soportar el sistema de grúas.

En la Figura 58 se muestra en 3D las grúas que se proyectan (el cual fue realizado mediante el software AutoCAD), las cuales se instalarán en el área de carrocerías y chasis, donde igualmente se puede observar las montaduras de ensamble de los autobuses.





Figura 58. Grúas viajeras en 3D en el área de estructura

#### **3.4.4 Selección de cabina de pintura.**

Durante el proceso de producción se tiene el área de pintura de autobuses, donde se deberá tener una cabina de aplicación para este proceso.

Para la selección de la cabina de pintura se tomaron en cuenta varios factores que se mencionan a continuación:

- Dimensiones de los autobuses a pintar.
- Tipo de pintura que se aplicara.
- Cumplimiento con especificaciones del proveedor de pintura.
- Cumplimiento con normatividad aplicable a este tipo de equipos.

##### **1.- Dimensiones de los autobuses a pintar:**

Los modelos que se fabricaran en esta planta de ensamble son los modelo Buller y Linner 12 y de los cuales el modelo de mayor dimensión es el Buller.

Además se tiene que considerar el espacio lateral para las canastillas de elevación las se requieren para pintar la parte del toldo.

Por lo que las dimensiones interiores de la cabina de pintura serán de:

Largo: 16 m.

Ancho: 5.5 m.

Altura: 5.5 m.

##### **2.- El tipo de pintura a aplicar será de base agua.**

La preocupación por disminuir la contaminación del medio ambiente y la actual normatividad impuesta por el gobierno para regular la emisión a la atmosfera de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) los cuales son agentes cancerígenos, además de generar espacios de trabajo más seguros y menos perjudiciales para la salud, han sido las principales razones que motivaron a los fabricantes de pintura en el desarrollo de los sistemas de pintado base agua.

Actualmente en el sector del automotriz, el uso de este tipo de recubrimientos se expande con gran rapidez, debido a las ventajas que presenta, en comparación a los productos convencionales con base solvente.

Esta nueva línea de producción, interesada en el medio ambiente y en la salud del personal que laborara usara productos de pintura con tecnología base agua y debido a las características que estos sistemas poseen, deberá tomar en cuenta determinados requerimientos, los cuales están relacionados con las instalaciones y el equipo a utilizar. Lo anterior fundamentara la obtención de beneficios de productividad y calidad que se desean alcanzar en el proceso de pintura. Los compuestos orgánicos volátiles, también conocidos por sus siglas en inglés como VOC's (volatile organic compounds), son sustancias químicas orgánicas cuya base es el carbono y que se evaporan a temperatura y presión ambiental, por lo cual generan vapores. Además del carbono es posible hallar en su composición hidrógeno, flúor, oxígeno, cloro, bromo, nitrógeno o azufre, los cuales poseen propiedades volátiles, liposolubles, tóxicas e inflamables contribuyen además, a la formación del smog al reaccionar con otros contaminantes. Los principales productos que los contienen son las pinturas, barnices, los solventes, los pegamentos, desengrasantes y productos de limpieza.

Los efectos de los VOC's sobre la salud pueden variar según el compuesto y comprenden desde un alto grado de toxicidad hasta ausencia de efectos conocidos. Tales efectos dependerán de la naturaleza de cada compuesto así como del grado y del período de exposición al mismo y se producen tanto a largo como a corto plazo. La principal vía de entrada es la respiratoria. La otra vía de entrada es por contacto ya que la piel puede quedar impregnada de estas sustancias.

Para la reducción de los VOC'S se necesitan fundamentalmente dos condiciones:

- Utilizar pintura base agua y productos con alto contenido en sólidos (HS).
- Contar con equipos de aplicación del tipo de alto volumen y baja presión (High volumen low pressure, HVLP), que contribuyen al máximo aprovechamiento de los productos mejorando los coeficientes de transferencia en las aplicaciones y por ende, a la reducción de las emisiones en conjunto con filtros en cabinas y lavadoras especiales para la limpieza de equipos y herramientas utilizadas en la aplicación de productos.

Con todo lo anterior se requiere una cabina de pintura que tenga características para la correcta aplicación de pintura base agua.

3.- Las especificaciones del proveedor de pintura son aquellas características de operación que debe tener la cabina para la correcta adherencia y aplicación de pintura base agua y son las siguientes:

- Temperatura de aplicación de pintura.

El rango de temperatura óptima para la aplicación de recubrimiento oscila entre 15°C y 32 °C. Generalmente, los recubrimientos no deben ser aplicados cuando la temperatura del medio ambiente sea inferior a 4 °C o superior a 43 °C durante la aplicación. Si la pintura es aplicada arriba de 32 °C puede ocasionar que la película seque demasiado pronto y traiga como consecuencia falta de uniformidad en la película y mala adherencia. Si la temperatura es inferior a 10 °C puede alargarse el tiempo de secado y curado de la película hasta puntos inaceptables. No debe aplicarse la pintura si existe la posibilidad de que la temperatura baje al punto de congelación antes de que ésta haya secado, la temperatura ideal es de 25 °C.

- Humedad relativa de la cabina en fase de aplicación de pintura.

La adherencia de la mayoría de las pinturas, excepto las de base acuosa, resulta seriamente dañada si la superficie por recubrir es contaminada con agua. En general debe evitarse pintar cuando la humedad relativa sea mayor de 85%. La probabilidad de que se condense la humedad sobre una superficie por pintar, puede predecirse midiendo la temperatura de la superficie y determinando el punto de rocío de la atmósfera circundante. La medida del punto de rocío es conveniente practicarla siempre que el tiempo se presente húmedo, lo que requiere el uso de un termómetro de bulbo seco, termómetro de bulbo húmedo y una tabla psicrométrica. La temperatura de la superficie más fría debe medirse con un termómetro de superficie. Si la temperatura de la superficie está descendiendo y se encuentra dentro de los cinco grados Fahrenheit (2.7 °C) del punto de rocío, debe suspenderse la aplicación porque es probable que se condense el agua sobre la superficie. Así también la humedad excesiva evita que la pintura seque y cure en forma regular.

- Velocidad del aire

Operaciones de pintura, sobre todo las aplicaciones por medio de aspersión, se hace más difícil cuando aumenta la velocidad del viento. Además de la gran cantidad de pintura desperdiciada cuando hay viento fuerte, la apariencia de la superficie

pintada generalmente no alcanza el acabado deseado, porque las partículas atomizadas secan antes de tocar la superficie. Así mismo las partículas de pintura en suspensión en el aire pueden llegar a contaminar áreas adyacentes. Se recomienda una velocidad promedio de 0.5 m/s.

- Temperatura de horneado.

La temperatura de horneado se establece entre 70 °C y 75 °C, por lo que se requiere que el horno de curado tenga una temperatura máxima de 80 °C. Se propone usar gas natural para alimentar los quemadores, siguiendo lo que indica la NOM-002-SECRE-2010 [10].

- Número de renovaciones por hora: Esta viene dada por la norma DIN 1946 [11], la cual indica que para cabinas de pintura los números de renovaciones por hora deberán ser entre 25 y 50.

Y a partir de este dato se puede obtener el caudal mínimo requerido para la cabina de pintura dada la formula (13).

$$(13) \quad Q=V \times N$$

Dónde:

Q= Caudal requerido (m³/h)

V= Volumen de la cabina de pintura en m³= (16x5.5x5.5)=484 m³

N= Número de renovaciones por hora, según la norma DIN 1946 [11] (tomamos la máxima)= 50

Por lo que la cabina de pintura tendrá un caudal mínimo de:

$$(13) \quad Q=484 \times 50$$

$$Q= 24,200 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Para el proceso de calefacción y horneado dentro de la cabina se dispone de una red de gas natural para alimentar los quemadores de la cabina, esta red cumplirá con lo descrito en la NOM-002-SECRE-2010 [10].

Para la conducción del gas natural se utiliza tubería de acero al carbón C-40 de 3.0" de diámetro, la presión de operación en la instalación de aprovechamiento es de 4.0 Kg/cm². Tomando en cuenta la cabina propuesta, el flujo estimado es de 200.0 m³/h.

Los tramos de tubería de la instalación van por vía aérea y soportada en paredes y columnas, para soportar movimientos telúricos, se utilizara tubería de acero al carbón C-40, así mismo en su ensamble se realizara por medio de soldadura por arco eléctrico y

uniones adecuadas para la conducción del gas natural. Las tuberías se deberán pintar en color amarillo para evitar la oxidación que puede reducir la vida útil y para identificación respecto a otros servicios de acuerdo a la NOM-026-STPS-2008 [7], las tuberías no cruzan atmosferas corrosivas.

La estación de regulación y medición (de la cual se alimenta la red de gas natural) se encuentra dentro del predio de Dina Camiones, la cual tiene acceso restringido y solo puede ingresar personal de operación y mantenimiento de PEMEX.

#### 4.- Normatividad a cumplir por parte de la cabina de pintura:

Este tipo de equipos está sujeto a varios riesgos en el aspecto de seguridad, tal como explosión, incendio, caídas, cortos circuitos, etc. por lo que se deberá cumplir con las normas que exigen este tipo de equipos y que se indican a continuación:

- NOM-001-SEDE-2012 [2] (Referente a la instalación eléctrica de fuerza y alumbrado a prueba de explosión en cabinas de pintura).
- NOM-002-STPS-2010 [12] (Condiciones de seguridad-prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo).
- NOM-002-SECRE-2010 [10], (Instalaciones de aprovechamiento de gas natural).
- NOM-022-STPS-2008 [5]: Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad.

Finalmente se propone una cabina de pintura del tipo de extracción lateral, por tener la ventaja de que no se tiene que realizar obra civil para su instalación y por consiguiente se tiene la posibilidad de cambiarla de ubicación a un menor costo (cumpliendo con el principio de flexibilidad). En la Figura 59, se puede observar el arreglo y ubicación que se proyecta para la cabina de pintura y cabina de preparación pintura,

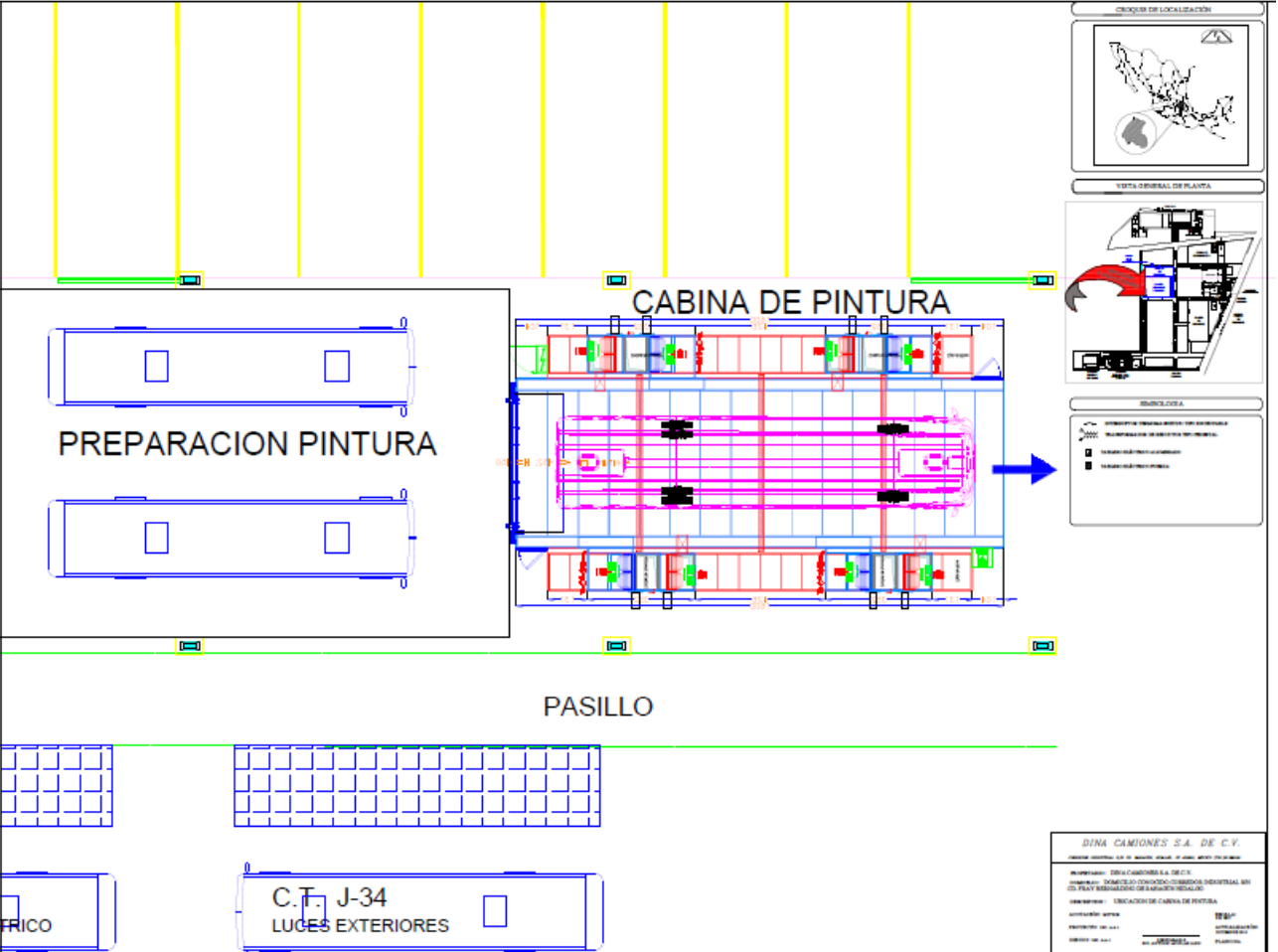


Figura 59. Ubicación de la cabina pintura y preparación pintura.

### 3.4.5 Selección de cabina de preparación de pintura

Durante el proceso de pintura existe una parte muy importante donde se debe preparar la superficie de la unidad antes de entrar a la cabina de pintura, para eliminar imperfecciones en el sustrato, así como la suciedad que contenga. Aquí se realizan labores como lijado y corte de fibra de vidrio y lamina, lo que genera una gran cantidad de polvo contaminante, el cual podría generar problemas de salud a las personas que laboran en este lugar, así como problemas de contaminación en la pintura aplicada. Para la correcta selección de la cabina de preparación se deberá contemplar los siguientes puntos:

- Dimensiones de los autobuses.
- Tipo de contaminante que se generara en esta área.

- Capacidad de extracción.
- Cumplimiento con normatividad aplicable a este tipo de equipos.

#### 1.- Dimensiones de los autobuses.

Los modelos que se fabricaran en esta planta de ensamble son los modelo Buller y Linner 12 y de los cuales el modelo de mayor dimensión es el Buller por lo que se tomara como base este modelo.

Además se tiene que considerar el espacio lateral para las canastillas de elevación las cuales se requieren para preparar la parte del toldo.

Por lo que las dimensiones interiores de la cabina de preparación serán de:

Largo: 16.0 m.

Ancho: 12.0 m.

Altura: 5.5 m.

#### 2.- Tipo de contaminante que se generara en esta área.

En esta área de preparación se generaran los siguientes contaminantes:

- Polvo de fibra de vidrio.
- Polvo metálico.
- Polvos de dióxido de titanio de las masillas de empaste.
- Polvos de metales tóxicos de pintura.
- Polvos de resinas de poliéster.

#### 3.- Capacidad de extracción.

- Número de renovaciones por hora: Esta viene dada por la norma DIN 1946 [11], la cual indica que para cabinas de pintura (aplica en este caso la de preparación pintura) los números de renovaciones deberán ser entre 25 y 50.

Y a partir de este dato se puede obtener el caudal mínimo requerido para la cabina de pintura dada la formula (13).

$$(13) \quad Q=V \times N$$

Dónde:

Q= Caudal requerido (m<sup>3</sup>/h)

V= Volumen de la cabina de pintura en m<sup>3</sup>= (16x12x5.5)=1056 m<sup>3</sup>



$N$ = Número de renovaciones por hora, según la norma DIN 1946 [11] (tomamos la máxima)= 50

Por lo que la cabina de pintura tendrá un caudal mínimo de:

$$(13) \quad Q=1056 \times 50$$

$$Q= 52,800 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### 4.- Cumplimiento con normatividad aplicable a este tipo de equipos.

Este tipo de equipos está sujeto a varios riesgos en el aspecto de seguridad, tal como explosión, incendio, caídas, cortos circuitos, etc. por lo que se deberá cumplir con las normas que exigen este tipo de equipos y que se indican a continuación:

- NOM-001-SEDE-2012 [2] (Referente a la instalación eléctrica de fuerza y alumbrado a prueba de explosión en cabinas de pintura).
- NOM-002-STPS-2010 [12] (Condiciones de seguridad-prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo).
- NOM-022-STPS-2008 [5]: Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad.

Finalmente se propone una cabina del tipo de extracción lateral, por tener la ventaja de que no se tiene que realizar obra civil para su instalación y por consiguiente se tiene la posibilidad de cambiarla de ubicación a un menor costo, cumpliendo con el principio de flexibilidad, como se muestra en la Figura 58.

#### **3.4.6 Selección de cabina de aplicación de poliuretano y anticorrosivo**

Durante el proceso de producción se tiene el área de aplicación de poliuretano y anticorrosivo, donde se deberá tener una cabina de aplicación para este proceso.

Para la selección de la cabina de pintura se tomara en cuenta varios factores que se menciona a continuación:

- Dimensiones de los autobuses a pintar.
- Tipo de producto que se aplicara en esta cabina.
- Cumplimiento con normatividad aplicable a este tipo de equipos.

1. Dimensiones de los autobuses para aplicación de poliuretano:

Los modelos que se fabricaran en esta planta de ensamble son los modelo Buller y Linner 12 y de los cuales el modelo de mayor dimensión es el Buller.

Por lo que las dimensiones interiores de la cabina serán de:

Largo: 16 m.

Ancho: 12 m. (Se trabajaran dos unidades al mismo tiempo)

Altura: 5.5 m.

2.- El producto que se aplicara en esta cabina será espuma de poliuretano, el cual es un aislante térmico utilizado para aislar la carrocería del exterior, debido a su bajo factor de conductividad térmica "K".

Esta aplicación, requiere únicamente de una cabina con sistema de extracción del tipo "cielo abierto" lo que significa que no tiene inyección de aire, tampoco se necesita temperatura controlada, ni sistema de horneado. Tomamos el mismo criterio para las cabinas de pintura en cuanto al cálculo del caudal requerido, a partir de la formula (13).

$$(13) Q=V \times N$$

Dónde:

Q= Caudal requerido ( $m^3/h$ )

V= Volumen de la cabina de pintura en  $m^3 = (16 \times 12 \times 5.5) = 1056 m^3$

N= Número de renovaciones por hora, según la norma DIN 1946 [11] (tomamos la máxima)= 50

Por lo que la cabina de pintura tendrá un caudal mínimo de:

$$(13) Q=1056 \times 50$$

$$Q= 52,800 m^3/h$$

3.- Cumplimiento con normatividad aplicable a este tipo de equipos.

- NOM-001-SEDE-2012 [2] (Referente a la instalación eléctrica de fuerza y alumbrado a prueba de explosión en cabinas de pintura).
- NOM-002-STPS-2010 [12] (Condiciones de seguridad-prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo).
- NOM-022-STPS-2008 [5]: Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad.

Parte del proceso de fabricación de los autobuses es la prueba de hermeticidad para asegurar que no existan filtraciones de agua hacia el interior del autobús. Para ello se necesita una cabina donde se simula la condición de lluvia, por medio de un sistema de bombeo, tubería y boquillas de aspersión distribuidos a lo largo de la cabina y que deberá cubrir toda la superficie del autobús.

143

A continuación, se presentan las características técnicas que debe tener la cabina, cumpliendo con la NOM-004-STPS-1999 [13], referente a los equipos de seguridad que deberá contener para la prevención de accidentes.

1.- Dimensiones

- Largo: 14.0 m.
- Ancho: 5.0 m.
- Altura: 5.5 m.

2.- Capacidad de la cisterna: 20,000 L.

3.- Capacidad de bomba: 15 kW, 1287 L/min.

4.- Diámetro de tubería principal: .0762 m.

5.- Diámetro de tubería de ramales: .0381 m.

6.- Cantidad de boquillas de aspersión tipo plana: 72 piezas.

7.- Presión del sistema: 3.0 kg/cm<sup>2</sup>

8.- Tablero de control eléctrico con temporizador de arranque (1 min) y paro (15 min).

A continuación, se presenta el arreglo de los aspersores en la Figura 61, en su vista frontal.

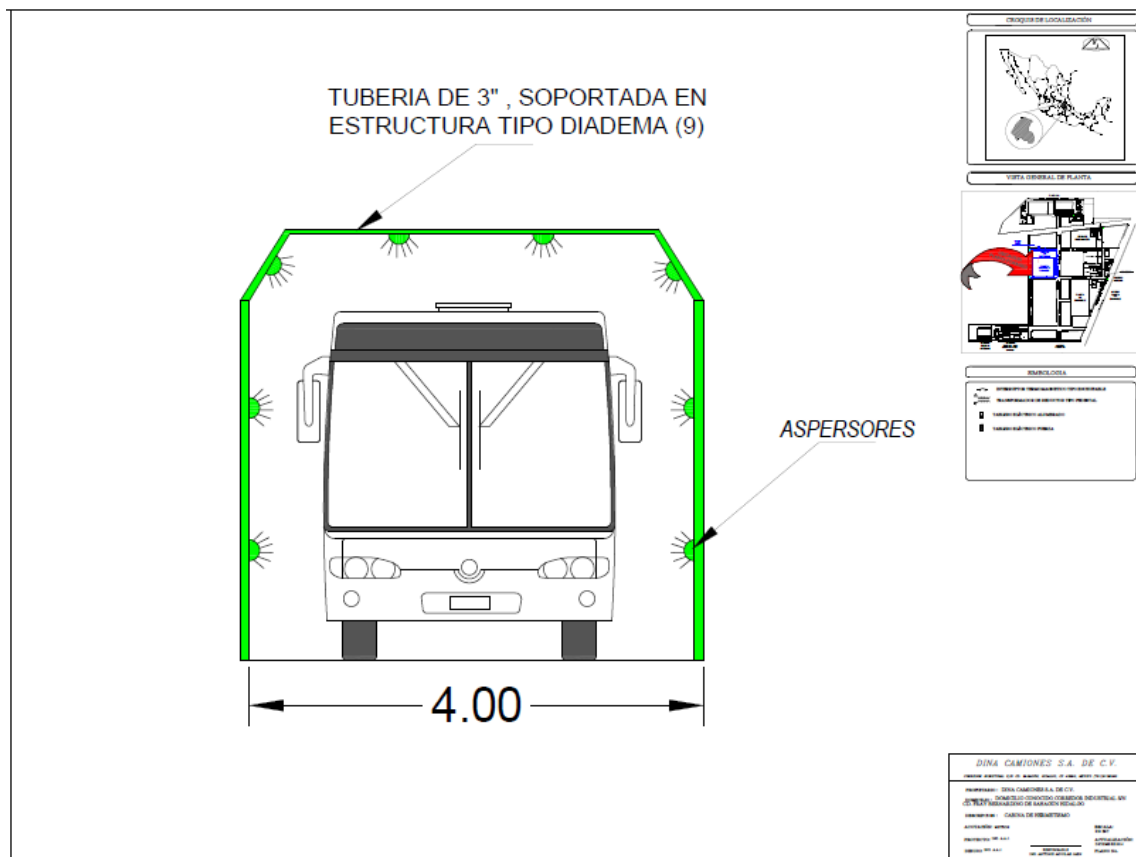


Figura 61. Arreglo de aspersores, vista frontal.

### 3.4.8 Selección de dinamómetro de pruebas

Para el proceso de diagnóstico y verificación del correcto funcionamiento del autobús se utilizan los dinamómetros de chasis, donde se valúa la potencia y par de torsión que entrega el motor. Para esto se dispone de rodillos sobre los cuales se apoyan las ruedas motrices del vehículo, estas ruedas impulsan los rodillos, estos se encuentran acoplados a la unidad de absorción de potencia, conforme el autobús a través de su sistema motriz transmite potencia a las ruedas estas movilizan los rodillos los cuales son frenados por la unidad de absorción de potencia para poder simular así una condición específica de carga sobre el motor o bien para medir la potencia del motor.

Este equipo resulta muy útil para revisar cada uno de los elementos que integran el autobús, por lo que los resultados de las pruebas y ensayos obtenidos reflejan de forma más real el comportamiento que el autobús tendrá en condiciones reales de trabajo.

Otra aplicación que se les da a estos equipos es la verificación de los niveles de contaminantes que emite el autobús y así poder cumplir con los requerimientos que exige la norma NOM-044-SEMARNAT-2006 [14].

Las Características que deberá cumplir el dinamómetro de acuerdo a las dimensiones de los autobuses serán las siguientes:

1. Capacidad de peso= 15,000 kg.
2. Máxima velocidad de prueba= 200 km/h.
3. Ancho de vía máxima = 2.8 m.
4. Ancho de vía mínimo= 1 m.
5. Diámetro de rodillo= 3.0 m.
6. Potencia de rueda máxima= 522 kW

En la Figuras 62 y 63 se presentan los planos del diseño del dinamómetro para realizar estas pruebas el cual cumple en su instalación con las normas NOM-001-SEDE-2012 [2] y NOM-004-STPS-1999 [13].

Con este capítulo se termina el diseño de infraestructura de planta y selección de los equipos críticos a utilizar en la nueva línea de producción, los cuales son de vital importancia para el funcionamiento óptimo de los equipos y se pasa a la sección de la viabilidad del proyecto, la cual nos indica si el proyecto es factible de llevarse a cabo desde el punto de vista técnico y financiero.

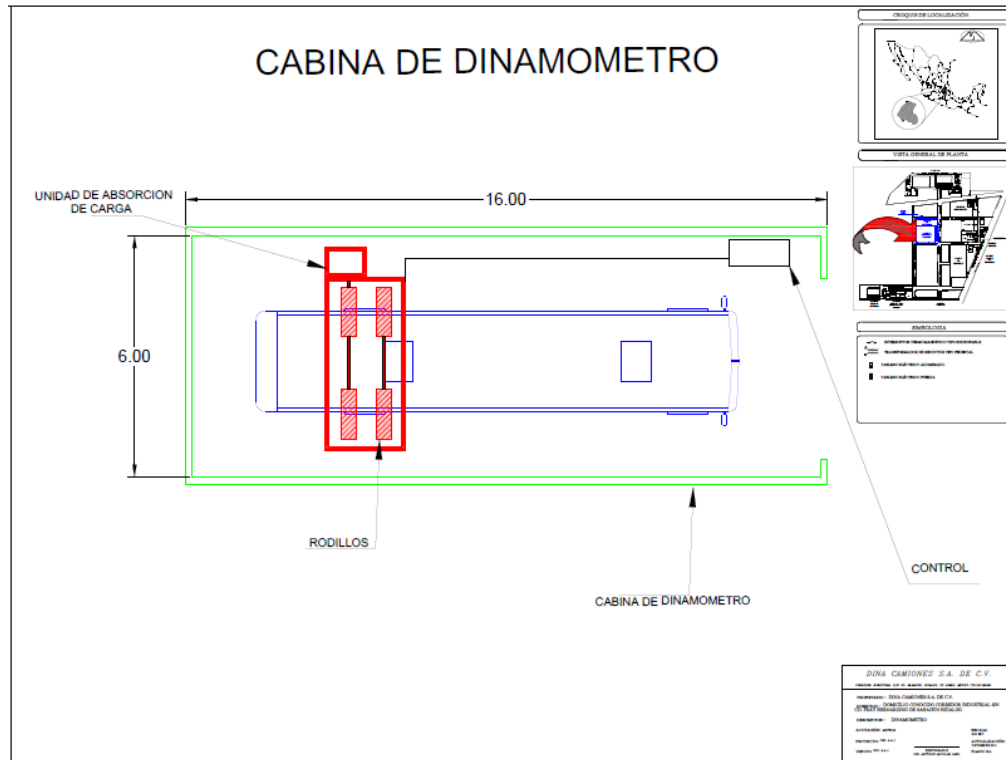


Figura 62. Vista de planta de cabina de dinamómetro.

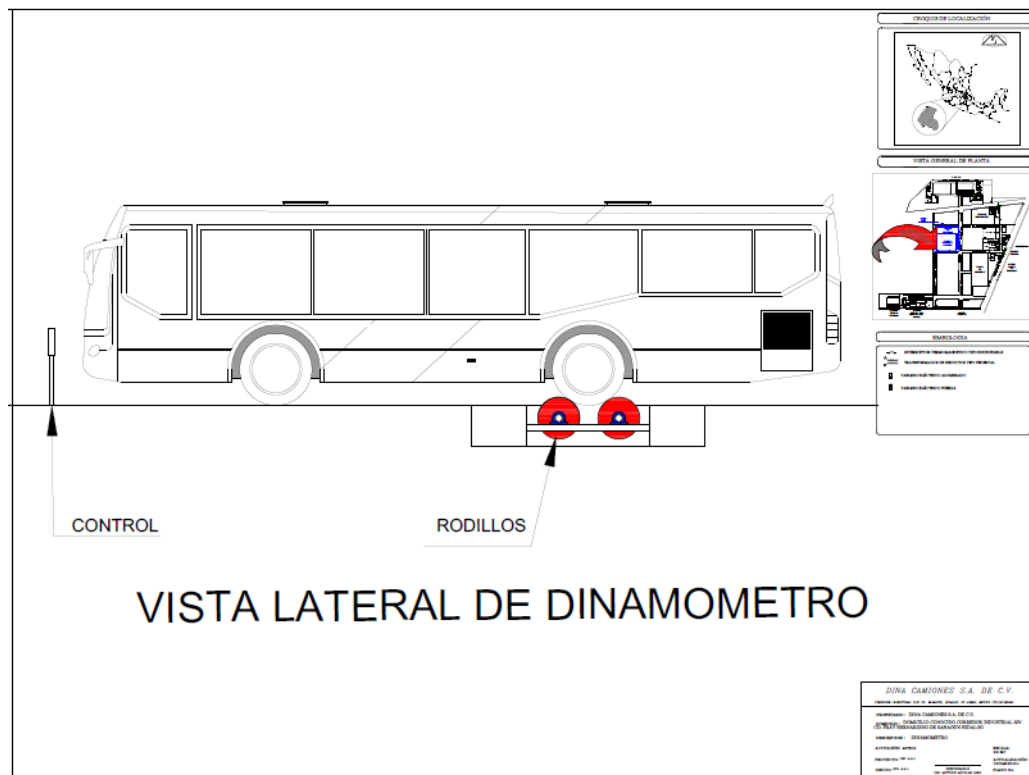


Figura 63. Vista lateral de dinamómetro.

### **3.5. VIABILIDAD DEL PROYECTO**

#### **3.5.1 Introducción**

De acuerdo a [35] pág. 18, toda decisión de inversión debe responder a un estudio previo de las ventajas y desventajas asociadas con su implementación, la profundidad con que este se realice dependerá de cada proyecto en particular. En términos generales, son varios los estudios particulares que deben realizarse para evaluar un proyecto, los cuales se mencionan a continuación:

Nota importante: Se hace notar al lector que la siguiente información se da de manera general debido a que por políticas de confidencialidad de la empresa Dina Camiones, no es posible realizar un análisis más profundo y mostrar información y evidencias con mayor detalle. Sin embargo lo aquí mostrado nos da una idea clara de la viabilidad y beneficios del proyecto.

#### **3.5.2 Viabilidad técnica**

Analiza las posibilidades materiales, físicas o químicas de producir el bien que desea generarse con el proyecto. Cuando se realiza un proyecto este tiene que ser aprobados técnicamente para garantizar la capacidad de su producción, incluso antes de determinar si es o no conveniente, desde el punto de vista de su rentabilidad económica.

##### Capacidad productiva

Para obtener la capacidad productiva de una planta de ensamble se tienen que tomar muchos factores que afectan la misma tales como infraestructura, cantidad de personal, tecnología utilizada y efectividad del proceso de manufactura. En este proyecto y debido a que se utilizara el mismo proceso de manufactura que se está llevando en la actual planta de ensamble, se tomara en cuenta el factor de cantidad de personal para poder determinar la capacidad productiva, debido a la limitante del espacio disponible en esta planta. Los datos a utilizar serán las horas hombre utilizadas en este proceso.

Las horas hombre que a continuación se enlistan fueron obtenidas de datos históricos tomados durante el ensamble de estos modelos en la actual línea de producción.



Horas-hombre necesarias para producir modelo Linner 12 = 857.14 H/H

Horas-hombre necesarias para producir modelo Buller = 1470.10 H/H

Horas por turno= 9.0 Hr.

Personas necesarias para producir una unidad de Linner 12 = 95.0

Personas necesarias para producir dos unidades de Linner 12 = 190.0

Personas necesarias para producir una unidad de Buller = 163.0

Total de personas para poder producir tres unidades diarias: 448.0

Los metros cuadrados de las estaciones de trabajo son 9100 m<sup>2</sup>.

Por lo anterior el número de personas que pueden trabajar en esta línea de ensamble no puede ser mayor a 450.

Por lo que la capacidad productiva de esta línea de producción es de tres unidades diarias.

Con esta infraestructura en instalaciones, esta planta de ensamble será capaz de producir tres unidades en un primer turno (dos Linner 12 y un Buller).

### Pronósticos de producción

En las tablas 20, 21, 22, 23 y 24 se indican los pronósticos en el volumen de producción que se estima tener en esta línea de ensamble, así como el monto y margen de utilidad de cada modelo. Lo anterior es para poder realizar el análisis de factibilidad del proyecto a cinco años.

Tabla 20. Producción estimada anualmente en el primer año.

| <b>Buller (cantidad)</b> | <b>Linner 12 (cantidad)</b> | <b>Ventas (\$)</b> | <b>% Utilidad</b> | <b>Utilidad (\$)</b> |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| 25                       | 100                         | \$150,000,000      | 8%                | \$12,000,000         |

Tabla 21. Producción estimada anualmente en el segundo año.

| <b>Buller (cantidad)</b> | <b>Linner 12 (cantidad)</b> | <b>Ventas (\$)</b> | <b>% Utilidad</b> | <b>Utilidad (\$)</b> |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| 25                       | 100                         | \$150,000,000      | 8%                | \$12,000,000         |

Tabla 22. Producción estimada anualmente en el tercer año.

| <b>Buller (cantidad)</b> | <b>Linner 12 (cantidad)</b> | <b>Ventas (\$)</b> | <b>% Utilidad</b> | <b>Utilidad (\$)</b> |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| 50                       | 100                         | \$200,000,000      | 8%                | \$16,000,000         |

Tabla 23. Producción estimada anualmente en el cuarto año.

| <b>Buller (cantidad)</b> | <b>Linner 12 (cantidad)</b> | <b>Ventas (\$)</b> | <b>% Utilidad</b> | <b>Utilidad (\$)</b> |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| 50                       | 100                         | \$200,000,000      | 8%                | \$16,000,000         |

Tabla 24. Producción estimada anualmente en el quinto año.

| <b>Buller (cantidad)</b> | <b>Linner 12 (cantidad)</b> | <b>Ventas (\$)</b> | <b>% Utilidad</b> | <b>Utilidad (\$)</b> |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| 50                       | 100                         | \$200,000,000      | 8%                | \$16,000,000         |

Total de ganancias en un periodo de cinco años, serian de \$ 72, 000,000

### 3.5.3 Viabilidad financiera

Determina en último término su aprobación o rechazo. Este mide la rentabilidad que retorna la inversión, todo medido con bases monetarias.

Según [35] pág. 259, las inversiones efectuadas antes de la puesta en marcha de cualquier proyecto se pueden agrupar en tres tipos:

- Activos fijos.
- Activos intangibles.
- Capital de trabajo.

Las inversiones en activo fijo son todas aquellas que se realizan en los bienes tangibles que se utilizan en el proceso de transformación de los insumos o que sirvan de apoyo a la operación normal el proyecto. Constituyen activos fijos entre otros, los terrenos, las obras físicas (edificios industriales, sala de ventas, oficinas administrativas, vías de acceso, estacionamientos, almacenes, etc.), el equipamiento de la planta, oficinas y salas de venta (en maquinaria, muebles, herramientas, vehículos y decoración en general) y la infraestructura de servicios de apoyo (agua potable, desagües, red eléctrica, comunicaciones, etc.).

Las inversiones en activos intangibles son todas aquellas que se realizan sobre activos constituidos por los servicios o derechos adquiridos, necesarios para la puesta en marcha del proyecto. Constituyen inversiones intangibles susceptibles de amortizar, ejemplos de este tipo de activos son gastos de administración, patentes y licencias, capacitación, base de datos etc.

La inversión del capital del trabajo constituyen el conjunto de recursos necesarios en la forma de activos corrientes, para la operación normal del proyecto durante un ciclo productivo para una capacidad y tiempo determinado. Para efectos de evaluación de proyectos, el capital de trabajo inicial constituirá una parte de las inversiones de largo plazo, ya que forma parte del monto permanente de los activos corrientes necesarios para asegurar la operación del proyecto. Si el proyecto considera aumentos en el nivel de producción, pueden requerirse adiciones al capital de trabajo [35].

De acuerdo a todo lo anterior y al alcance de este proyecto solo se considerara las inversiones en activos fijos, por lo que a continuación se enlistan las inversiones que se tienen que realizar en este proyecto mediante la Tabla 25, de acuerdo a costos referidos al año 2016.

Tabla 25. Costos de inversión de activos fijos.

| No. | Descripción  | Costo       |
|-----|--|-------------|
| 1   | Reparación de bajadas pluviales, canalones y red de drenaje.     | \$300,000   |
| 2   | Reparación y pintura de techumbre (cambio de láminas acrílicas). | \$1,500,000 |
| 3   | Rehabilitación de sanitarios, vestidores y oficinas.             | \$1,500,000 |
| 4   | Construcción de subestación eléctrica.                           | \$2,000,000 |
| 5   | Instalación de sistema eléctrico de fuerza.                      | \$1,500,000 |
| 6   | Suministro e instalación de sistema eléctrico de alumbrado.      | \$1,200,000 |
| 7   | Suministro e instalación de sistema de grúas de carrocerías.     | \$2,000,000 |
| 8   | Suministro e instalación de sistema de grúas de chasis.          | \$2,000,000 |
| 9   | Suministro e instalación de red de aire comprimido.              | \$2,200,000 |
| 10  | Suministro e instalación de equipo de compresión de aire.        | \$650,000   |
| 11  | Suministro e instalación de cabina de aplicación de poliuretano. | \$950,000   |
| 12  | Suministro e instalación de cabina de pintura.                   | \$4,500,000 |
| 13  | Suministro e instalación de cabina de preparación pintura        | \$1,500,00  |
| 14  | Suministro e instalación de cabina de prueba de hermetismo.      | \$ 750,000  |
| 15  | Suministro e instalación de dinamómetro de Chasis                | \$1,500,000 |

|    |  |                     |
|----|--|---------------------|
| 16 | Herramientales de carrocerías y chasis                       | \$7,000,000         |
| 17 | Herramienta manual (taladros, remachadoras, esmeriles, etc.) | \$1,500,000         |
| 18 | Máquinas de soldar (50 piezas)                               | \$2,500,000         |
|    | <b>Monto total de inversión</b>                              | <b>\$35,050,000</b> |

### 3.5.4 Retorno de inversión

El retorno de inversión (ROI, Return on investment) es una medida que indica la cantidad de ganancias producidas por cierta inversión. Las empresas utilizan este cálculo para comparar diferentes escenarios de inversiones y prever cual produciría las mayores ganancias y beneficios para la compañía [43].

La fórmula para el ROI, involucra sólo dos factores: El costo de la inversión y las ganancias que generará la misma, se calcula mediante la siguiente formula:

$$ROI = \frac{\text{Ganancia de la inversion} - \text{Costo de la inversion}}{\text{Costo de la inversion}} \times 100$$

El resultado se multiplica por 100 para convertirlo en porcentaje y de esta manera podemos observar que porcentaje de la inversión puede ser recuperada después de un cierto periodo de tiempo.

Si el ROI es positivo significa que el proyecto es rentable (mientras mayor sea el ROI, un mayor porcentaje del capital se va a recuperar al ser invertido en el proyecto). Pero si el ROI es menor o igual a cero, significa que el proyecto no es rentable.

En nuestro proyecto los datos para el cálculo del ROI son los siguientes:

Ganancia de la Inversión en el cuarto año (utilidad total, Tablas 20-23): \$ 56, 000,000

Costo de la inversión (total, Tabla 25): \$ 35, 050,000

$$ROI = \frac{56,000,000 - 35,050,000}{35,050,000} \times 100$$

$$ROI = 59.77\%$$

Este número nos indica que la inversión del proyecto se recuperaría en cuatro años, lo que lo hace un proyecto factible desde el punto de vista financiero.

## 4. RESULTADOS

---

En este capítulo tiene como objetivo el presentar los resultados obtenidos en el proyecto de instalación de una nueva línea de producción de autobuses. Cabe mencionar que esta línea de producción fue viable de instalarse y probarse en dos lotes de producción en Dina Camiones y probo ser eficiente en todo su proceso de producción, a continuación se enlista las características finales con las que cuenta la nave y línea de producción como resultado del proyecto.

### Terreno/Superficie

- Superficie disponible para línea de producción: 13,600 m<sup>2</sup>.
- Accesos a línea de producción: Se tienen 2 accesos hacia la línea de producción
- Drenaje: Se cuenta con sistema de drenaje municipal, para desalojar todos los residuos sanitarios así como las aguas pluviales, como propuesta de mejora se propone la instalación de una planta de tratamiento de aguas negras.
- Perímetro: El perímetro de la nave se propone que sea delimitado con malla ciclónica de 3 m de altura, además de concertina en la parte superior y con alumbrado perimetral, por cuestiones de seguridad.

### Nave industrial

- Superficie de nave techada: 13,600 m<sup>2</sup>.
- Altura Interior de nave: 7.0 m.
- Altura a cumbrera: 9.5 m.
- Tipo de estructura: Cubierta tipo diente de sierra.
- Tipo de cubierta: Traslucida con el 25% de láminas translucidas y el 75% de láminas galvanizadas tipo R-101, calibre 24.
- Fachadas laterales: En tabique rojo al 50% y el resto en lamina pinto perfil R-101 calibre 24.
- Piso: Concreto hidráulico reforzado de 250 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia y 15 cm de espesor.

- Sistema de tierras y pararrayos: Cuenta con sistema de tierras físicas y sistema de pararrayos para protección del personal y maquinaria contra descargas eléctricas atmosféricas, cumpliendo toda la Instalación con las normas aplicables NOM-022-STPS-2008 Y NOM-002-STPS-2008.
- Sistema eléctrico de fuerza: se cuenta con contactos de 440 V, 220 V y 127 V de acuerdo a Layout de proceso (Figura 43), así mismo se cuentan con acometidas eléctricas hacia equipos críticos como cabinas de pintura, grúas, máquinas de soldar etc. dejando los tableros con un 30% de capacidad sobrante para futuras instalaciones.
- Sistema de alumbrado: Alumbrado interior de acuerdo a Figura 44 y son de aditivos metálicos tipo campana de 350 W con luz de día y colocados a una altura de 6.0 m. Cumpliendo con la NOM-025-STPS-2008, la cual indica un nivel iluminación de 750 luxes para áreas de ensamble y de inspección.
- Sistema de aire comprimido: Contiene un sistema modular de tubería de aluminio del tipo Smart pipe en toda la red de aire en 100 mm para ramal principal, 63 mm para ramales secundarios y 25 mm para tomas de aire.

## **Energéticos**

- Subestación eléctrica: Contiene un transformador trifásico de 750 KV a 440 V , un transformador trifásico de 300 KV a 220 V , equipo de medición, tablero modular y extensible en media tensión totalmente encapsulado en hexafloruro de azufre, dos tableros autosoportados de 1600 A para 440 V y 220 V.
- Sistema de agua potable: Se suministra agua potable desde un tanque elevado a una presión de 3.0 kg/cm<sup>2</sup> para los servicios de sanitarios y regaderas.
- Aire comprimido: Se suministra desde un compresor del tipo tornillo de capacidad de 112 kW y un tanque de pulmón de aire de 5000 L de capacidad.
- Gas natural: Es suministrado desde una caseta de medición y regulación custodiada por PEMEX y es utilizado en el proceso de calefacción y horneado de la cabina de pintura.

### **Oficinas y sanitarios**

- Oficinas al exterior de la nave: Cuenta con un módulo de oficinas central, para 24 personas incluyendo una sala de juntas, según el arreglo de la Figura 28.
- Vestidores y regaderas: Para dar cumplimiento a la normatividad vigente se incluye un módulo de vestidores y regaderas, el cual tiene la capacidad para 100 hombres y 100 mujeres, ver Figura 30.
- Oficinas al interior de la nave: Contiene dos módulos de oficinas y sanitarios idénticos los dos, cada uno con espacio para nueve personas en su interior y servicios de sanitarios para hombres y damas, de acuerdo a Figura 32.

### **Maquinaria instalada**

- Cabina de pintura: Cabina tipo de extracción lateral, con calefacción de gas natural, canastillas de elevación en su interior y del tipo cabina – horno.
- Cabina de preparación de pintura: Con extracción lateral y cielo abierto sin sistema de inyección de aire y sin calefacción.
- Cabina de aplicación de poliuretano: Igualmente tipo extracción lateral y cielo abierto sin sistema de inyección de aire y sin calefacción.
- Sistema de grúas viajeras: Se cuenta con una línea de grúas viajeras para el área de estructuras con 3 puentes con capacidad de carga de 2,500 kg cada uno, a lo largo de un recorrido de 86.25 m y a una altura máxima de trabajo de 6.5 m.
- Cabina de prueba de hermetismo: Cuenta con una cisterna de agua con capacidad de 20,000 L y una bomba de agua de 15 kW, todo dentro de una cabina hermética, ver Figura 59 y 60.
- Dinamómetro: Cuenta con este equipo para pruebas dinámicas de los autobuses, ubicada en el interior de una cabina, ver Figuras 61 y 62.

## CONCLUSIONES

---

El trabajo aquí expuesto, proporciona una propuesta de solución a la necesidad de instalar una nueva línea de ensamble de autobuses, aplicando la metodología SLP, obteniendo una distribución de planta eficaz cumpliendo con sus principios básicos y así lograr los objetivos que se plantearon para este proyecto. Para el diseño de la infraestructura el uso de herramientas de diseño como es AutoCAD y Dialux fueron de utilidad para visualizar el diseño anticipadamente y realizar los cambios necesarios antes de su instalación. Por otro lado la fase de diseño de la infraestructura se realizó tomando en cuenta toda la normatividad mexicana vigente que rigen a este tipo de instalaciones, cumpliendo lo referente a la seguridad en el trabajo y medio ambiente y así poder cumplir con las auditorias que las autoridades correspondientes realicen a estas instalaciones. Un resultado importante que se logró fue la flexibilidad de las instalaciones y distribución de planta, para que cuando se requiera en un futuro, se puedan realizar cambios al proceso y maquinaria al menor costo y en corto tiempo. Para que un proyecto de esta magnitud sea factible el retorno de inversión, ROI (que compara la utilidad neta con relación a la inversión realizada) depende del volumen de ventas que se tenga de estos autobuses y de acuerdo con la proyección de producción el retorno de la inversión se realizara en cuatro años, tiempo aceptable para este tipo de proyectos.

Se concluye que mediante el uso adecuado de la metodología de distribución de planta SLP y haciendo uso de la normatividad oficial, se puede diseñar una línea de producción que cumpla con las normas de construcción y de seguridad industrial, para la manufactura de cualquier producto, que en nuestro caso es la de fabricación de autobuses.



## RECOMENDACIONES

---

Durante la ejecución de este trabajo se pudo observar que la limitante para este proyecto fue el espacio destinado (además de que fue mandatorio) y que al final tuvo un gran impacto en el proceso de manufactura, por lo que se recomienda que para proyectos de este tipo se tome en cuenta el espacio como un determinante crítico para obtener una eficiente distribución de planta.

Otra recomendación sería el incluir a todas las áreas (producción, seguridad industrial, manufactura, ingeniería, control de calidad entre otros) que están involucradas en el proceso de manufactura para la toma de decisiones que puedan afectar a dichas áreas.

El uso de las técnicas de Lean Manufacturing en este proceso de manufactura, serían un buen complemento, por lo que se recomienda su uso.

Este trabajo puede ser complementado en un futuro utilizando la RV, la cual nos da una visión más real de las instalaciones antes de su construcción y para realizar modificaciones que se puedan necesitar aprovechando la flexibilidad obtenido en este trabajo.

Los resultados y la metodología utilizada en este proyecto es muy útil para realizar la distribución de planta e infraestructura de cualquier tipo de proceso de manufactura, algunas aplicaciones se mencionan a continuación:

- Industria alimenticia.
- Hospitales.
- Industria automotriz.
- Industria de servicios.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

---

- [1] MUTHER, R. Distribución en Planta. Barcelona, España: Hispano Europea, 1981. pp.13-22.
- [2] NOM-001-SEDE-2012. Instalaciones Eléctricas (utilización). México: Secretaria de Energía. 18-junio-2012. 1140 p.
- [3] NOM-029-STPS-2011. Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad (Novena sección). México: Secretaria del trabajo y previsión social. 29-diciembre-2011. 48 p.
- [4] NOM-025-STPS-2008. Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. México: Secretaria del trabajo y previsión social. 12-diciembre-2008. 17 p.
- [5] NOM-022-STPS-2008. Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad. México: Secretaria del trabajo y previsión social. 7-noviembre-2008. 12 p.
- [6] NOM-020-STPS-2011. Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas- Funcionamiento-Condiciones de seguridad. México: Secretaria del trabajo y previsión social. 27-diciembre-2011. 52 p.
- [7] NOM-026-STPS-2008. Colores y señales de seguridad e higiene e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. México: Secretaria del trabajo y previsión social. 25-noviembre-2008. 26 p.
- [8] NOM-006-STPS-2000. Manejo y almacenamiento de materiales –condiciones de seguridad y salud en el trabajo. México: Secretaria del trabajo y previsión social. 11-septiembre-2014. 56 p.
- [9] NOM-001-STPS-2008. Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo- Condiciones de Seguridad. México: Secretaria del trabajo y previsión social. 24-noviembre-2008. 26 p.
- [10] NOM-002-SECRE-2010. Instalaciones de aprovechamiento de gas natural. México: Secretaria de energía. 4-febrero-2011. 16 p.
- [11] SODECA. Información técnica. Disponible en:  
*[http://www.sodeca.com/Content/img/es/InformacioTecnica\\_02.pdf](http://www.sodeca.com/Content/img/es/InformacioTecnica_02.pdf)*
- [12] NOM-002-STPS-2010. Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. México: Diario oficial.- 9-diciembre-2010. 54 p.

- [13] NOM-004-STPS-1999. Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo. México: Secretaria del trabajo y previsión social.31-mayo-1999. 17 p.
- [14] NOM-044-SEMARNAT-2006. Que establece los limites permisibles de emisión de hidrocarburos totales. México: Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. 30-agosto-2006. 8 p.
- [15] HICKS, Philip E. Ingeniería industrial y administración: una nueva perspectiva. México: CECSA, 2002. 343 p, ISBN: 9789682612169.
- [16] WIENDAHL, P.; NYHUIS, Peter. Facility planning. Niedersachsen, Germany: Springer, 2014. pp. 493-499.
- [17] VDI the association of German Engineers Berlin. Planning procedure. En su: VDI Guide Line Factory planning. Berlin: Springer,2009. pp. 8-21.
- [18] BLANCO, J.; MARTINEZ E.; JIMENEZ, E.; CUEVAS A.; SAENZ, J. Lean Manufacturing in the Developing World. Switzerland: Springer International Publishing, 2014. pp. 461-465.
- [19] FOULDS, L.; HORST, W. Facilities Layout Problems. Germany: Springer, 2000, pp 975-976. ISBN MSC2000:90B80.
- [20] LI, Zhi-hua.; ZHONG, Yi-fang. *Virtual Facility Layout Design Using Virtual Reality Techniques*. Wuhan University Journal of Natural Sciences. Hubei, China. 2003. pp. 41-45.
- [21] TING Y.; DINGHUA Z.; BING, C.; SHAN, L.; *Research on Plant Layout and Production Line Running Simulation in Digital Factory Environment*. IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application. China. 2008. pp. 589-593
- [22] LEONARDO, C.; MARCOS, R.; PEREIRA, B. *A solution to the facility Layout problem using simulated annealing*. Computers in Industry. Vol. 36. 1998. pp. 125-132.
- [23] GUOXING, W.; YAN, Y.; XIANG, Z.; RUXIN, N.; ZHIJUN, W. *Integrating Simulation Optimization with VR for Facility Layout Evaluation*. International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. China. 2008. pp. 389-393.
- [24] MEZGER, M.; HARBERL, S. Creating competitive factories - Speeding up the innovation process in factory design using Virtual Reality as a new engineering tool.

- Strategic Management of the Manufacturing Value Chain. Germany: Springer, 1998. pp. 94-104
- [25] CERON, E.; MADRID, G.; GAMBOA, G. Desarrollo y casos de aplicación de Lean Manufacturing. Magazin Empresarial. Colombia: 2015, pp. 33-44
  - [26] MUÑOZ, C. M. Diseño de Distribución en Planta de una empresa textil. Tesis para obtener el título de ingeniero industrial. Perú: Universidad mayor de San Marcos, Facultad de ingeniería industrial, 2004, Capítulo 2.1
  - [27] TOMPKINS, J.A.; WHITE J.A.; BOZER Y. A.; TANCHOCO J. M. A. Planeación de Instalaciones. Nueva York (E.U.A.): Thomson, 4ta edición, 2011. 864 p.
  - [28] VAUGHN, R. C. Introducción a la Ingeniería Industrial. Segunda edición. Barcelona, Reverte, 1988. pp. 103.
  - [29] GUERRERO, M.; Manuel, A. Distribución en Planta y área de trabajo. Gestipolis. 2001.11 Octubre 2001. [fecha de consulta: 29-sep-2015]. Disponible en <http://www.gestipolis.com/distribucion-planta-area-trabajo/>
  - [30] RUIZ, C. G. Planeación y Diseño de Instalaciones. Veracruz: Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. 2004. 46 diapositivas, color.
  - [31] EVERRET, E. A., RONALD, J. E. Administración de la Producción y las Operaciones. Mexico: Editorial Prentice Hall Internacional, 1991. 739 p.
  - [32] PÉREZ, P. C. Curso de iniciación de AutoCAD. España: Unión universitaria, 2012. pp. 3.
  - [33] FUCCI, A.R. Tomas. La Estructura de Producción de la Empresa. México. 1999. pp. 4.
  - [34] DE LA FUENTE, G. D.; FERNANDEZ, Q. I. Distribución en Planta. Oviedo, España : Universidad de Oviedo, 2005. pp. 29-30. ISBN13:9788474689907.
  - [35] SAPAG, C. N.; SAPAG, C. R. Preparación y evaluación de proyectos. 5a ed. Colombia: McGraw-Hill, 2008. 463 p. ISBN 10:956-278-206-9
  - [36] CHRISTENSEN, E. Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México 2014-2015. En su: Sistemas integrados de transporte público masivo. México D.F.: Forros, 2015. pp 38-39. ISBN 978-92-1-132651-2.
  - [37] REVISTA AUTOMOTORES-REV.[en línea]. México D.F. ANPACT. 12-enero-2016.[fecha de consulta 01-noviembre-2016]. Disponible en: <http://www.automotores-rev.com/se-vendieron-37826-autobuses-y-camiones-al-menudeo-en-2015-anpact/>
  - [38] INEGI. La industria automotriz en México 2014, México, DF.: INEGI, 2014. Capítulo 3.1.

- [39] DIEGO, M. J.A. Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos. Tesis Doctoral. España: Universidad Politécnica de Valencia. 2006. Capítulo 2. pp. 8-72
- [40] Norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico, del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. México : Gaceta oficial del Distrito Federal. 8-febrero-2011.111 p.
- [41] UPTON, D.M. Harvard Deusto Business Review. *La gestión de la flexibilidad de la fabricación*. Nº 62. Harvard. Springer, 1994. pp 75-87.
- [42] Manual de Construcción del Acero. IMCA. México: Ed. Limusa, 5ª edición, 2014. 552 p.
- [43] MAJOR Sarah .Return of Investment (ROI). Disponible en: <http://jwilson.coe.uga.edu/EMAT6450/Class%20Projects/Major/Teacher%27s%20Guide%20ROI.pdf>

## ANEXOS

Anexo 1. Modos de transporte en las zonas metropolitanas y ciudades de más de 500 mil habitantes.

|                                       | ZM y ciudades de más de 500 mil habitantes ordenadas por tamaño | Población 2010 | Superficie bruta (incluye vialidades y EP)2010 | Densidad (habitantes por hectárea) 2010 SEDESOL | Autos por habitante | Modos de Transporte                  |                  |             |                       |                                      |                                 |
|---------------------------------------|---|----------------|--|---|---------------------|--------------------------------------|------------------|-------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
|                                       |   |                |  |   |                     | C<br>o<br>l<br>e<br>c<br>i<br>v<br>o | T<br>a<br>x<br>i | B<br>R<br>T | M<br>e<br>t<br>r<br>o | T<br>r<br>o<br>l<br>e<br>b<br>u<br>s | T<br>r<br>e<br>n<br>s<br>u<br>b |
| Más de 1 millón de habitantes (11 ZM) | ZM del valle de México  | 20,116,842     | 230,462  | 84.9  | 0.30                | X                                    | X                | OP          | X                     | X                                    | X                               |
|                                       | ZM Guadalajara  | 4,434,878      | 61,538   | 70.2  | 0.26                | X                                    | X                | OP          | X                     | X                                    |                                 |
|                                       | ZM Monterrey  | 4,106,054      | 77,747   | 52.0  | 0.30                | X                                    | X                | OP          | X                     |                                      |                                 |
|                                       | ZM de Puebla-Tlaxcala   | 2,278,790      | 72,117   | 36.0  | 0.19                | X                                    | X                | OP          |                       |                                      |                                 |
|                                       | ZM de Toluca  | 1,936,126      | 40,307   | 38.0  | 0.18                | X                                    | X                | OP          |                       |                                      |                                 |
|                                       | ZM de Tijuana   | 1,751,430      | 33,127   | 50.5  | 0.33                | X                                    | X                | C           |                       |                                      |                                 |
|                                       | ZM de Leon  | 1,609,504      | 21,673   | 66.4  | 0.15                | X                                    | X                | OP          |                       |                                      |                                 |
|                                       | ZM de Juarez  | 1,332,131      | 35,210   | 37.6  | 0.27                | X                                    | X                | OP          |                       |                                      |                                 |
|                                       | ZM La Laguna  | 1,215,817      | 26,667   | 40.0  | 0.16                | X                                    | X                | P           |                       |                                      |                                 |
|                                       | ZM Querétaro  | 1,097,025      | 17,409   | 52.9  | 0.20                | X                                    | X                | P           |                       |                                      |                                 |
|                                       | ZM SLP-Soledad  | 1,040,443      | 18,863   | 52.7  | 0.28                | X                                    | X                | P           |                       |                                      |                                 |
|                                       |   |                |  |   |                     |                                      |                  |             |                       |                                      |                                 |
|                                       | ZM de Mérida  | 973,046        | 27,639   | 33.7  | 0.26                | X                                    | X                | P           |                       |                                      |                                 |
|                                       | ZM de Mexicali  | 936,826        | 22,086   | 37.9  | 0.41                | X                                    | X                | C           |                       |                                      |                                 |
|                                       | ZM Aguascalientes   | 932,369        | 13,053   | 63.4  | 0.25                | X                                    | X                | IP          |                       |                                      |                                 |
|                                       | ZM Cuernavaca   | 924,964        | 20,696   | 40.5  | 0.17                | X                                    | X                | P           |                       |                                      |                                 |
|                                       | ZM de Acapulco  | 863,431        | 15,646   | 46.4  | 0.19                | X                                    | X                | C           |                       |                                      |                                 |

|   |                                     |         |        |      |      |   |   |    |  |  |  |
|---|-------------------------------------|---------|--------|------|------|---|---|----|--|--|--|
| De 500 mil a menos de 1 millón de habitantes, más 3 ciudades de este rango. | ZM de Tampico                       | 859,419 | 19,942 | 39.4 | 0.16 | X | X | C  |  |  |  |
|   | ZM de Chihuahua                     | 852,533 | 27,556 | 30.3 | 0.31 | X | X | OP |  |  |  |
|   | ZM de Morelia                       | 829,625 | 12,888 | 54.8 | 0.25 | X | X |    |  |  |  |
|   | ZM de Saltillo                      | 823,128 | 23,134 | 33.9 | 0.16 | X | X | IP |  |  |  |
|   | ZM de Veracruz                      | 811,671 | 10,514 | 69.6 | 0.20 | X | X | C  |  |  |  |
|   | ZM Villahermosa                     | 755,425 | 11,536 | 46.2 | 0.18 | X | X | OP |  |  |  |
|   | ZM Reynosa-Rio Bravo                | 727,150 | 18,152 | 38.3 | 0.27 | X | X | lp |  |  |  |
|   | ZM de Tuxtla Gutierrez              | 684,156 | 16,343 | 38.3 | 0.16 | X | X | Op |  |  |  |
|   | ZM de Cancún                        | 677,379 | 15,506 | 43.5 | 0.22 | X | X | C  |  |  |  |
|   | ZM de Xalapa                        | 666,535 | 9,759  | 59.8 | 0.19 | X | X | P  |  |  |  |
|   | ZM de Oaxaca                        | 607,963 | 15,780 | 35.8 | 0.14 | X | X |    |  |  |  |
|   | ZM de Poza Rica                     | 513,518 | 7,511  | 44.8 | 0.14 | X | X |    |  |  |  |
|   | ZM de Pachuca                       | 512,196 | 14,907 | 29.4 | 0.29 | X | X | C  |  |  |  |
|   | Hermosillo, Sonora (AU-Área urbana) | 715,061 | 17,595 | 40.6 | 0.27 | X | X |    |  |  |  |
|   | Culiacán, Sinaloa                   | 675,773 | 12,600 | 53.6 | 0.30 | X | X | P  |  |  |  |
|   | Victoria de Durango                 | 518,709 | 9,438  | 55.0 | 0.24 | X | X | P  |  |  |  |