

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL PARANÁ



## Proyecto integrador final

“Diseño de una planta de producción de pinturas de  
base acuosa”

Cátedra: Proyecto Final

Docentes: Ruhl Gustavo

Maximino Nicolás

Integrantes: Muller, Francisco

Weber Lautaro

Carrera: Ingeniería Electromecánica

2025

## **Resumen**

Se trata de un proyecto en el cual se realiza el diseño y cálculo de una planta de producción de pintura de base acuosa. Dentro del proyecto se aborda temas claves para tener una base de partida, como el análisis de mercado, dimensión de producción y proceso productivo. En el dimensionamiento de la planta productiva se estable los tipos de equipos necesarios para el proceso, selección de máquinas, sistemas automatizados y almacenamiento de materia prima. Por otra parte, se diseñan y calcula las instalaciones neumáticas, hidráulicas y eléctricas. Finalmente, se realiza un análisis financiero que nos indicará que tan factible es el proyecto desde el aspecto económico.

### **Palabras clave**

Pintura de base acuosa, batch de mezcla, dosificación, dispersora, tolva, electroválvulas, celdas de carga.

## **Agradecimientos**

En este momento queremos expresar nuestro sincero agradecimiento.

Agradecemos a los profesores, que nos instruyeron y compartieron su conocimiento durante todo el trayecto académico, así como también a la universidad que nos brindó la oportunidad de llevar adelante este proyecto.

A nuestros familiares y amigos, por su apoyo incondicional a lo largo de todo este tiempo. En los momentos difíciles, ustedes fueron los que nos alentaron a superar nuestros obstáculos y poder cumplir con este objetivo. No nos dejaron rendirnos y gracias a eso pudimos lograr estar en este lugar.

## Índice General

|  |    |
|--|----|
| Resumen .....  | 2  |
| Palabras clave .....   | 2  |
| Agradecimientos .....  | 3  |
| Índice de tablas .....   | 13 |
| 1.    Introducción .....   | 16 |
| 1.1    Identificación de una necesidad .....                         | 17 |
| 1.2    Problemática.....   | 17 |
| 2.    Estudio de mercado .....                                       | 18 |
| 2.1    Análisis del mercado nacional .....                           | 18 |
| 2.2    Estudio del mercado local.....                                | 21 |
| 2.3    Determinación de las cantidades mínimas de venta al mes ..... | 22 |
| 2.4    Conclusiones de los estudios de mercado.....                  | 23 |
| 3.    Análisis técnico .....   | 24 |
| 3.1    Diseño de la línea de producción .....                        | 24 |
| 3.2    Proceso productivo .....                                      | 25 |
| 3.3    Selección de las maquinas principales.....                    | 26 |
| 3.3.1    Selección de las dispersoras .....                          | 26 |
| 3.3.2    Selección de los batchs (recipientes de procesado).....     | 27 |

|  |    |
|--|----|
| 3.3.3 Elección de la línea de envasado automática .....                        | 28 |
| 3.4 Planta productiva .....  | 30 |
| 3.5 Logística de la materia prima.....   | 35 |
| 3.5.1 Selección de los depósitos de líquidos .....                             | 37 |
| 3.5.2 Selección de los depósitos de solidos.....                               | 38 |
| 3.5.3 Deposito extra de materia prima.....                                     | 38 |
| 3.6 Deposito de producto terminado.....  | 41 |
| 3.7 Ubicación de la planta.....  | 42 |
| 4. Automatización de la planta de producción .....                             | 44 |
| 4.1 Dosificación de materia prima en batchs de producción .....                | 44 |
| 4.1.1 Dosificación con una sola celda de carga ubicada en el batch .....       | 45 |
| 4.1.2 Dosificación con una celda de carga y caudalímetros para los líquidos .. | 46 |
| 4.1.3 Dosificación con 4 tolvas de pasado y celdas de carga .....              | 47 |
| 4.2 Justificación y desarrollo de la solución definitiva.....                  | 49 |
| 4.3 Explicación del proceso .....  | 51 |
| 4.3.1Circuito de líquidos livianos.....  | 51 |
| 4.4 Lógica de automatización .....   | 90 |
| 4.5 Programación y puesta en marcha de la automatización .....                 | 92 |
| 4.6 Análisis de tiempos .....  | 93 |
| 5. Instalaciones industriales.....   | 94 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 5.1   | Instalación Neumática.....                 | 94  |
| 5.1.1 | Consumo de aire comprimido.....            | 94  |
| 5.1.2 | Compresor.....                             | 95  |
| 5.1.3 | Tipo de red.....                           | 98  |
| 5.2   | Instalación eléctrica.....                 | 116 |
| 5.2.1 | Relevamiento y selección de equipos.....   | 116 |
| 5.2.2 | Iluminación.....                           | 121 |
| 5.2.3 | Conductores.....                           | 128 |
| 5.2.4 | Verificación de cortocircuito.....         | 148 |
| 5.2.5 | Dispositivos de protección y maniobra..... | 164 |
| 5.2.6 | Factor de potencia.....                    | 173 |
| 5.2.7 | Puesta a Tierra.....                       | 176 |
| 6     | Análisis Económico y Financiero.....       | 185 |
| 6.1   | Inversión inicial.....                     | 185 |
| 6.2   | Financiamiento.....                        | 186 |
| 6.2.1 | Primera etapa.....                         | 187 |
| 6.2.2 | Segunda etapa.....                         | 188 |
| 6.2.3 | Tercera etapa.....                         | 188 |
| 6.3   | Ingresos.....                              | 188 |
| 6.4   | Egresos.....                               | 191 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 6.5 Flujo de fondos .....          | 193 |
| 6.6 Indicadores .....              | 195 |
| 6.6.1 Valor actual neto.....       | 196 |
| 6.6.2 Tasa interna de retorno..... | 196 |
| 6.6.3 Periodo de retorno.....      | 197 |
| 7 Conclusión .....                 | 199 |
| 8 Bibliografía .....               | 200 |
| Anexos .....                       | 201 |

## Índice de imágenes

|  |    |
|--|----|
| Imagen 1 – Mercado de las pinturas en Argentina [1].....     | 19 |
| Imagen 2 - Evolución del mercado de pinturas [1].....        | 19 |
| Imagen 3 - Grafico de torta mercado de pinturas [1].....     | 19 |
| Imagen 4 - Distribución de marcas [1].....                   | 20 |
| Imagen 5 - Maquina dispersora de pinturas VORTEX.....        | 27 |
| Imagen 6 - Batches de procesados VORTEX.....                 | 28 |
| Imagen 7 – Maquina envasadora automática VORTEX.....         | 29 |
| Imagen 8 - Layout de planta productiva .....                 | 30 |
| Imagen 9 -Detalle Layout zona de envasado .....              | 31 |
| Imagen 10 - Bomba neumática de doble diafragma.....          | 31 |
| Imagen 11 - Bomba neumática ARO para producto terminado..... | 32 |

|   |    |
|---|----|
| Imagen 12 - envolvedora semiautomática marca DG .....                         | 33 |
| Imagen 13 - Montacarga Sampi TOYOTA.....                                      | 34 |
| Imagen 14 - Depósitos de líquidos de 350L Y 1100L marca ROTOR.....            | 37 |
| Imagen 15 - Depósitos de líquidos tipo silo de 4200L y 7200L marca ROTOR..... | 37 |
| Imagen 16 - Deposito de sólidos marca PRILLWITZ.....                          | 38 |
| Imagen 17 - ejemplo de racks para palets .....                                | 39 |
| Imagen 18 - Esquema de racks de Alfa Racks .....                              | 40 |
| Imagen 19 - Distribución de racks recomendada.....                            | 40 |
| Imagen 20 - Ejemplo depósito de pinturas.....                                 | 41 |
| Imagen 21 - Baldes de 20 [L] de producto terminado .....                      | 41 |
| Imagen 22 - Ubicación de la planta.....                                       | 43 |
| Imagen 23 - Ejemplo de celdas de carga en batch .....                         | 45 |
| Imagen 24 - caudalímetro.....   | 46 |
| Imagen 25 - Esquema dosificación con tolvas de pesado .....                   | 47 |
| Imagen 26 – Depósitos y tolvas .....  | 48 |
| Imagen 27 - Layout automatización.....  | 50 |
| Imagen 28 – Vista lateral de circuito líquidos livianos.....                  | 51 |
| Imagen 29 - Modelo PE07 bomba neumática 3/4" de ARO .....                     | 53 |
| Imagen 30 - Diagrama de Moody [3].....  | 55 |
| Imagen 31 - Esquema alimentación bombas neumáticas.....                       | 57 |
| Imagen 32 - electroválvula Parker 24V modelo 550091DIS .....                  | 57 |
| Imagen 33 - electroválvula Parker 24V modelo 321K3706-482606C2.....           | 58 |
| Imagen 34 - Celda de carga para 10 KG .....                                   | 59 |
| Imagen 35 - Modelo de bomba a diafragma 1 y 1/2" de ARO .....                 | 61 |

|   |     |
|---|-----|
| Imagen 36 - Bomba centrifuga Czerweny .....                           | 65  |
| Imagen 37 - Electroválvula Parker 24V modelo 482606C2 .....           | 65  |
| Imagen 38 - Electroválvula Parker 24 V modelo 550032DIS .....         | 66  |
| Imagen 39 - Celda de carga de 500 KG .....                            | 67  |
| Imagen 40 – Vista lateral dosificación de solidos livianos .....      | 67  |
| Imagen 41 - Electroválvula Parker 24V modelo 444143W .....            | 68  |
| Imagen 42 – Vista lateral transporte solidos pesados .....            | 69  |
| Imagen 43 - Layout de transporte solidos pesados .....                | 70  |
| Imagen 44 - Datasheet del árido.....                                  | 71  |
| Imagen 45 - Esquema medidas de ciclón [4] .....                       | 74  |
| Imagen 46 - Motor eléctrico 11 KW WEG.....                            | 77  |
| Imagen 47 - Soplador Roots marca Dosivac.....                         | 79  |
| Imagen 48 - Electroválvula tipo guillotina marca Orbinox .....        | 80  |
| Imagen 49 - Filtros de mangas para transporte neumático .....         | 83  |
| Imagen 50 - Sistema de autolimpieza con aire a contrapresión .....    | 84  |
| Imagen 51 - Electroválvula para limpieza .....                        | 85  |
| Imagen 52 - Filtros HDFA .....  | 86  |
| Imagen 53 - PLC modelo V700 marca Unitronics .....                    | 90  |
| Imagen 54 - Compresor modelo NB10 marca NUAIR.....                    | 95  |
| Imagen 55 - Tanque de aire comprimido .....                           | 97  |
| Imagen 56 -Configuración red abierta de aire comprimido .....         | 98  |
| Imagen 57 - Configuración red en anillo de aire comprimido .....      | 99  |
| Imagen 58 - Distribución y distancias de red de aire comprimido ..... | 100 |
| Imagen 59 – Layout verificación 1 de cañería de aire comprimido.....  | 101 |

|  |     |
|--|-----|
| Imagen 60 - Resultados software transair tramo 1 de cañería .....      | 101 |
| Imagen 61 – Layout verificación 2 de cañería de aire comprimido.....   | 102 |
| Imagen 62 - Resultados software transair tramo 2 de cañería .....      | 102 |
| Imagen 63 - Layout verificación 3 de cañería de aire comprimido .....  | 103 |
| Imagen 64 - Resultados software transair tramo 3 de cañería .....      | 103 |
| Imagen 65 - Layout verificación 4 de cañería de aire comprimido .....  | 104 |
| Imagen 66 - Resultados software transair tramo 4 de cañería .....      | 104 |
| Imagen 67 - Layout verificación 5 de cañería de aire comprimido .....  | 105 |
| Imagen 68 - Resultados software transair tramo 5 de cañería .....      | 105 |
| Imagen 69 - Layout verificación 6 de cañería de aire comprimido .....  | 106 |
| Imagen 70 - Resultados software transair tramo 6 de cañería .....      | 106 |
| Imagen 71 - Layout verificación 7 de cañería de aire comprimido .....  | 107 |
| Imagen 72 - Resultados software transair tramo 7 de cañería .....      | 107 |
| Imagen 73 - Layout verificación 8 de cañería de aire comprimido .....  | 108 |
| Imagen 74 - Resultados software transair tramo 8 de cañería .....      | 108 |
| Imagen 75 - Layout verificación 9 de cañería de aire comprimido .....  | 109 |
| Imagen 76 - Resultados software transair tramo 9 de cañería .....      | 109 |
| Imagen 77 - Layout verificación 10 de cañería de aire comprimido ..... | 110 |
| Imagen 78 - Resultados software transair tramo 10 de cañería .....     | 110 |
| Imagen 79 - Layout verificación 11 de cañería de aire comprimido ..... | 111 |
| Imagen 80 - Resultados software transair tramo 11 de cañería .....     | 111 |
| Imagen 81 - Cañerías aire comprimido.....                              | 113 |
| Imagen 82 - Clip de fijación cañería de aire comprimido.....           | 113 |
| Imagen 83 - Cañerías flexibles aire comprimido .....                   | 113 |

|   |     |
|---|-----|
| Imagen 84 - Accesorios para cañería aire comprimido.....              | 114 |
| Imagen 85 - válvulas aire comprimido.....                             | 114 |
| Imagen 86 - Cuello de cisne aire comprimido .....                     | 115 |
| Imagen 87 - Filtro para aire comprimido .....                         | 115 |
| Imagen 88 - Layout planta industrial para instalación eléctrica ..... | 116 |
| Imagen 89 - Disposición de tableros.....                              | 118 |
| Imagen 90 - Envasadora automática .....                               | 118 |
| Imagen 91 - Disposición de Oficina.....                               | 119 |
| Imagen 92 - Disposición de tableros.....                              | 119 |
| Imagen 93 - Diseño de planta 3D software Dialux .....                 | 121 |
| Imagen 94 - Ficha del producto de Iluminación .....                   | 122 |
| Imagen 95 - Ficha del producto de iluminación II.....                 | 123 |
| Imagen 96 - Layout distribución de luminarias .....                   | 123 |
| Imagen 97 - Datos fotométricos en la zona de producción .....         | 124 |
| Imagen 98 - Datos fotométricos en la zona de Baños.....               | 124 |
| Imagen 99 - Datos fotométricos en la zona de Laboratorio.....         | 125 |
| Imagen 100 - Datos fotométricos en la zona de Oficina.....            | 125 |
| Imagen 101 - Datos fotométricos en la zona de Compresores.....        | 126 |
| Imagen 102 - Datos fotométricos en la zona de Tableros.....           | 126 |
| Imagen 103 - Datos fotométricos en la zona de Taller .....            | 127 |
| Imagen 104 - Disposición de conductores en bandejas .....             | 134 |
| Imagen 105 - Layout circuito Iluminación.....                         | 138 |
| Imagen 106 - Bandeja perforada.....                                   | 139 |
| Imagen 107 - Layout iluminación más lejana .....                      | 141 |

|   |     |
|---|-----|
| Imagen 108 - Layout Laboratorio, Baños y Oficina .....                      | 143 |
| Imagen 109 - Layout conductores de potencia .....                           | 145 |
| Imagen 110 - Esquema unifilar de la instalación .....                       | 148 |
| Imagen 111 - Interruptor Compacto Tablero Principal.....                    | 150 |
| Imagen 112 - Descargador de sobretensión .....                              | 150 |
| Imagen 113 - Interruptor termomagnético C120N.....                          | 151 |
| Imagen 114 - Interruptor termomagnético iC60N .....                         | 154 |
| Imagen 115 – selectividad prueba 1 .....                                    | 154 |
| Imagen 116 - Selectividad prueba 2.....                                     | 155 |
| Imagen 117 - Selectividad prueba 3.....                                     | 156 |
| Imagen 118 - Selectividad prueba 4.....                                     | 157 |
| Imagen 119 - Selectividad prueba 5.....                                     | 157 |
| Imagen 120 - Esquema de falla 1 cortocircuito .....                         | 160 |
| Imagen 121 - Curvas Corriente - Tiempo Fusibles NH-3.....                   | 161 |
| Imagen 122 - Esquema de falla 2 cortocircuito .....                         | 162 |
| Imagen 123 - Esquema de falla 3 cortocircuito .....                         | 163 |
| Imagen 124 - Ejemplo de barras en tablero .....                             | 165 |
| Imagen 125 - Interruptor diferencial Tablero Acti9 iLD 4x63.....            | 166 |
| Imagen 126 - Guardamotor Tesys Deca.....                                    | 168 |
| Imagen 127 - Contactor K 3P 1Nc 220V 50/60Hz .....                          | 169 |
| Imagen 128 - Relé falta y secuencia de fases RMW17.....                     | 170 |
| Imagen 129 - Arrancador Suave SSW05 .....                                   | 171 |
| Imagen 130 - Variador de Velocidad Schneider 3X380-500V 15KW 20HP 33A ..... | 172 |
| Imagen 131 - Diagrama vectorial de potencias.....                           | 174 |

|  |     |
|--|-----|
| Imagen 132 - Banco de capacitores .....                            | 175 |
| Imagen 133 - Esquema TT normalizado puesta a tierra .....          | 176 |
| Imagen 134 - Esquema de falla de aislación .....                   | 177 |
| Imagen 135 - Jabalinas de puesta a tierra.....                     | 179 |
| Imagen 136 - Esquema distancia mínima entre puestas a tierra ..... | 181 |
| Imagen 137 - Grafico de retorno de inversión .....                 | 197 |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 - Resumen de datos en entrevistas .....                            | 21 |
| Tabla 2 - Fórmula genérica de pinturas.....                                | 26 |
| Tabla 3 - Dosificación de materia prima.....                               | 35 |
| Tabla 4 - Depósitos y gestión de materia prima.....                        | 36 |
| Tabla 5 - Referencias dosificación .....                                   | 48 |
| Tabla 6 - Medidas de cañerías metálicas.....                               | 53 |
| Tabla 7 - Calculo de perdida por accesorio 1 .....                         | 54 |
| Tabla 8 - Calculo de perdida por accesorio 2.....                          | 62 |
| Tabla 9 - Tabla caudal y altura bomba Czerweny.....                        | 64 |
| Tabla 10 - Velocidad y densidad de mezcla recomendados [4].....            | 72 |
| Tabla 11 - Relación radio de curvatura [4] .....                           | 76 |
| Tabla 12 - Tabla de selección de compresores Dosivac .....                 | 78 |
| Tabla 13 - Propiedades físicas pigmento .....                              | 81 |
| Tabla 14 - Valores de perdida de carga para separadores de polvo [4] ..... | 87 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 15 - Tabla de selección de compresores Dosivac .....                   | 89  |
| Tabla 16 - Selección de módulos expandibles .....                            | 91  |
| Tabla 17 - Resumen automatización .....                                      | 92  |
| Tabla 18 - análisis de tiempo por dispersora.....                            | 93  |
| Tabla 19 - Análisis de tiempo por proceso.....                               | 93  |
| Tabla 20 - Consumos de aire comprimido .....                                 | 94  |
| Tabla 21 - Tabla de selección de compresores NUAIR.....                      | 95  |
| Tabla 22 - Relevamiento de cargas .....                                      | 117 |
| Tabla 23 - Cargas en tableros seccionales.....                               | 120 |
| Tabla 24 - Tabla 1 Anexo Norma IRAM [5] .....                                | 121 |
| Tabla 25 - Resumen de cálculos de iluminación.....                           | 127 |
| Tabla 26 - Tabla 771.16.VI AEA 90364 [6] .....                               | 130 |
| Tabla 27 - Tabla 771.16.III AEA 90364 [6] .....                              | 133 |
| Tabla 28 - Factor de corrección AEA 90364 [6].....                           | 134 |
| Tabla 29 - Tabla 771.16.I AEA 90364 [6] .....                                | 140 |
| Tabla 30 - Conductores de potencia.....                                      | 146 |
| Tabla 31 - Tabla para obtener factor K Norma AEA 90364 [6] .....             | 161 |
| Tabla 32 - Tabla 771.16.XII AEA 90364 [6].....                               | 165 |
| Tabla 33 - Relevamiento de cargas para corrección de FP .....                | 173 |
| Tabla 34 - Potencia activa y reactiva por tablero .....                      | 173 |
| Tabla 35 - Factor de potencia por tablero .....                              | 174 |
| Tabla 36 - Modelo de banco de capacitores.....                               | 175 |
| Tabla 37 - Resistividades de terrenos tabla.....                             | 178 |
| Tabla 38 - Máximos valores de resistencia de puesta a tierra permitidos..... | 180 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 39 - Tabla 771-C.II.....  | 182 |
| Tabla 40 - Tabla 771.19.II.....                                       | 182 |
| Tabla 41 - Tabla AEA para calcular conductor de puesta a tierra ..... | 182 |
| Tabla 42 - Tabla resumen de Inversión.....                            | 186 |
| Tabla 43 - Resumen primera inversión .....                            | 187 |
| Tabla 44 - Cuotas del terreno y la nave industrial .....              | 187 |
| Tabla 45 - Resumen segunda inversión .....                            | 188 |
| Tabla 46 - Resumen tercera inversión.....                             | 188 |
| Tabla 47 - Ingresos por ventas de baldes de pintura .....             | 190 |
| Tabla 48 - Resumen de ingresos anuales .....                          | 190 |
| Tabla 49 - Egresos totales .....                                      | 193 |
| Tabla 50 - Resumen de egresos anuales.....                            | 193 |
| Tabla 51 - Flujo de fondos .....                                      | 195 |
| Tabla 52 - Resumen anual flujo de fondos.....                         | 195 |

## **1. Introducción**

En el siguiente proyecto se realizará el diseño de una línea de producción para la elaboración de pinturas industriales de base acuosa.

En primer lugar, se llevará a cabo un análisis de mercado, definiendo la cantidad que podemos abarcar del mismo y los volúmenes que podemos producir y vender. Teniendo estos datos definidos, continuamos con el diseño de línea de producción, determinando que máquinas y equipos principales se necesitan para fabricar las pinturas.

Definidos los puntos anteriores, establecemos la disposición de las maquinas dentro de la fábrica, las dimensiones del layout de planta y todas las instalaciones industriales necesarias.

Para definir si el proyecto es viable se realiza el análisis financiero, obteniendo sus indicadores, una conclusión y cierre del proyecto.

## **1.1 Identificación de una necesidad**

El presente proyecto surge como respuesta a una necesidad insatisfecha en el rubro de las pinturas y recubrimientos, especialmente en los productos impermeabilizante y aislantes térmicos para techos.

Existe una oportunidad de mercado para la fabricación de pinturas industriales principalmente de aplicación en techos y losas.

## **1.2 Problemática**

Nos comunicamos con una pequeña empresa de Paraná, la cual se está iniciando en el rubro de las pinturas. Esta empresa se encuentra actualmente produciendo dos productos, una membrana líquida y un aislante térmico para techos. Actualmente tiene una capacidad productiva menor a 5000 litros mensuales debido a que solo cuenta con las máquinas y los equipos necesarios para ampliar su producción.

Comprobamos que tanto la membrana líquida, como el aislante térmico son productos de una excelente calidad, siendo el aislante térmico el producto que más los diferencia en el mercado.

Ambos productos tienen una relación excelente entre su calidad y su precio accesible, sin embargo, no se están explotando comercialmente a su máximo potencial ya que se encuentran limitados de capacidad productiva.

Teniendo en cuenta la alta demanda que pueden tener estos dos productos, creemos que es factible realizar una producción industrial a mayor escala de estas pinturas, adicionando otros productos como puede ser látex o recubrimientos.

## **2 Estudio de mercado**

Realizar un correcto estudio de mercado nos brindará las herramientas de partida para conocer los volúmenes de producción inicial.

Realizamos dos tipos de análisis de mercado, el primero basándonos en estimaciones de mercados obtenidos por el grupo DISEL [1], cuya actividad consiste en la fabricación de pinturas, barnices y productos de revestimiento similares bajo las marcas Tersuave y Colorin. Con esta información obtuvimos una visión global del mercado de pinturas en la Argentina y su proyección a corto plazo.

El segundo análisis consistió en realizar entrevistas a pinturerías consideradas como estratégicas localmente, es decir en la ciudad de Paraná y con estos datos proyectar las ventas mínimas que podríamos obtener en la ciudad y la provincia.

### **2.1 Análisis del mercado nacional**

Para este primer análisis utilizamos el informe grupo DISEL [1]. La distribución del mercado argentino de pinturas y la evolución en los últimos 20 años se da de la imagen 1.

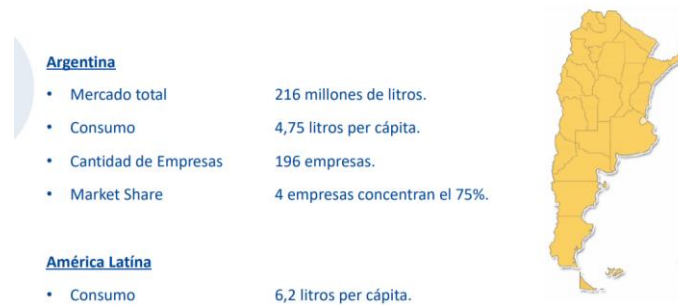


Imagen 1 – Mercado de las pinturas en Argentina [1]

### Evolución Histórica del Mercado

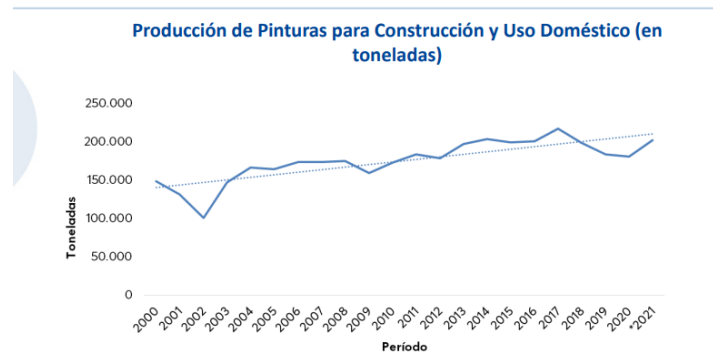


Imagen 2 - Evolución del mercado de pinturas [1]

El mercado total de pinturas en Argentina fue de 216 millones de litros para el año 2021, donde de las cuales, el 86% abarca las pinturas del hogar y obra.

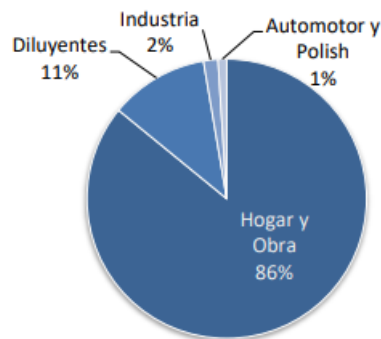


Imagen 3 - Grafico de torta mercado de pinturas [1]

Es decir, de los 216 millones de litros, 185,76 millones son de esta última categoría.

Otro dato interesante que brinda este estudio es la distribución del mercado en marcas:



*Imagen 4 - Distribución de marcas [1]*

El 75% del mercado se compone de empresas posicionadas hace años en el rubro, las cuales consideramos que es difícil ganarle una porción de mercado, por lo tanto, nos enfocaremos en la otra porción, es decir en el 25%. Eso abarca un total de:

$$185,76 \text{ millones de litros} \times 25\% = 46,44 \text{ millones de litros}$$

Una buena proyección conservadora es poder abarcar al menos el 2% de este mercado. Eso da un total de:

$$46,44 \text{ millones de litros} \times 2\% = 929 \text{ mil litros}$$

Llevando el valor a producción mensual:

- *Producción:*  $\frac{929000 \frac{\text{litros}}{\text{año}}}{\frac{12 \text{ meses}}{\text{año}}} = 77400 \left[ \frac{\text{litros}}{\text{mes}} \right]$

## 2.2 Estudio del mercado local

Para tener una base de partida se realizaron entrevistas a 4 pinturerías estratégicas de Paraná, para recolectar datos sobre las ventas de membrana líquida mensualmente, marcas comercializadas y una suposición de la cantidad de membrana líquida o producto similar que nos comprarían en un futuro. Un resumen de los datos obtenidos es:

| <b>PINTURERIA</b>        | <b>VENTAS DE<br/>MEMBRANA AL<br/>MES</b> | <b>MARCAS MAS<br/>COMERCIALIZADAS</b> | <b>POSIBILIDAD<br/>DE COMPRA</b> |
|--------------------------|--|---------------------------------------|----------------------------------|
| UNIVERSO                 | 1200 [L]                                 | Sintoplast                            | 600 [L]                          |
| PINTURERIA<br>ALMAFUERTE | 200 [L]                                  | Sherwin Williams                      | 200 [L]                          |
| ALBA                     | 400 [L]                                  | Alba                                  | 200 [L]                          |
| A TODO COLOR             | 800 [L]                                  | Colorin                               | 160 [L]                          |

*Tabla 1 - Resumen de datos en entrevistas*

Datos extras y conclusiones obtenidos en las entrevistas:

- La mejor forma de comercializar es en baldes de 20 litros, ya que, en promedio por pinturería, de cada 20 baldes vendidos, solo 1 es de menor volumen.
- Las entrevistas se llevaron a cabo en una fecha considerada como “baja temporada”, ya que la temporada alta es generalmente desde agosto hasta febrero.
- Nos recomendaron enfocarnos en un producto, en el aislante térmico. Ya que la mayoría de las empresas que empezaron en el rubro se especializaron en un producto y luego se ampliaron en otros, solo para mantenerse en el mercado.
- Se llegó a la conclusión de que se venderían aproximadamente 200 litros por mes por pinturería en baja temporada.

- Se debe tener en cuenta que no solo se puede vender en pinturerías sino también en ferreterías y los corralones.

Proyectamos estos datos a los demás locales comerciales, considerando las pinturerías, ferreterías y corralones como potenciales clientes. Para eso tenemos estos datos dentro de la ciudad de Paraná y zonas aledañas:

- Cantidad de pinturerías: más de 24.
- Ferreterías: más de 40 ferreterías
- Corralones: más de 30 corralones

Sumando las pinturerías, ferreterías y corralones, el total de al menos 94 locales comerciales.

### **2.3 Determinación de las cantidades mínimas de venta al mes**

Una suposición por debajo de la realidad es considerar que el 50% de los locales comprarían 200 litros de membrana líquida y 200 litros de aislante térmico.

Eso nos da un valor de:

$$400L \times 94 \times 0,5 = 18800 \left[ \frac{L}{mes} \right]$$

Consideraciones extras de producción:

- En un principio se fabricará membrana y aislante térmico, pero en un futuro se añadirá la producción de látex interior y exterior, los cuales triplican en el mercado a la membrana líquida según datos proporcionados por pinturerías. Por eso se puede considerar dimensionar el triple de producción. Es decir  $56400 \left[ \frac{L}{mes} \right]$

- Solo se consideró un área de venta de la ciudad de Paraná. Probablemente el área de venta sea mayor, abarcando ciudades y pueblos aledaños y otras provincias.

Esto nos permite como mínimo poder vender el doble lo cual daría una venta de:

$$Prod\ Inicial = 2 * 56400 \left[ \frac{L}{mes} \right] = 112800 \left[ \frac{L}{mes} \right]$$

Como dato adicional, la empresa de pinturas Sorvalok de la ciudad de Paraná, maneja una producción de  $200 \left[ \frac{Tn}{mes} \right]$  según lo expresa en una entrevista para “xmastv” [2]. Un valor aproximado expresado en litros se obtiene dividiendo este número por una densidad promedio de las pinturas de  $1,3 \left[ \frac{L}{kg} \right]$ , lo cual se obtiene  $154000 \left[ \frac{L}{mes} \right]$ .

Cabe aclarar que se trata de una empresa posicionada en el mercado hace más de 30 años y con una variedad de pinturas para obra y hogar, lo que nos permite tener una referencia.

## 2.4 Conclusiones de los estudios de mercado

En el primer análisis de mercado obtuvimos una visión nacional del mercado de pintura, pero no nos permitió obtener resultados concluyentes en base a la cantidad de mercado que podemos abarcar.

En el caso del segundo estudio de mercado, si nos permite tener una proyección a corto y mediano plazo. Entonces, basándonos en el último análisis y considerando una futura ampliación, la producción que planteamos para nuestra fabrica es de  $200000 \left[ \frac{L}{mes} \right]$ .

### 3 Análisis técnico

La etapa de análisis técnico abarca el diseño completo de un fabrica para la producción de pinturas. En esta parte se identifica el proceso productivo, se seleccionan las máquinas y equipos necesarios, se dimensionan las instalaciones y se realiza toda la documentación técnica necesaria para llevar a cabo el proyecto.

#### 3.1 Diseño de la línea de producción

El planteamiento se realizará en dos etapas: una primera etapa con la puesta en producción de la fábrica. En esta etapa se buscará abastecer un mercado inferior a la que se estableció en el análisis de mercado, ya que se trataría de una inversión muy grande, lo cual condicionaría el proyecto. En cambio, si se realiza una inversión escalonada, los riesgos son menores.

Por lo tanto, se comenzará con una producción de  $80000 \left[\frac{L}{mes}\right]$ . Una vez recuperada esa inversión, se procede a realizar la reinversión, obteniendo una capacidad productiva de  $200000 \left[\frac{L}{mes}\right]$ .

Para comenzar nos centraremos en la producción de membrana liquida y producto atómico. Según el análisis de mercado esto dos productos son los más importantes para entrar en el mercado y hacer conocer la Empresa. Al cabo de 5 años se realizará la producción de látex exterior e interior.

Entonces resumiendo tenemos:

- Producción mensual inicial:  $80000 \left[\frac{L}{mes}\right]$
- Producción mensual de membrana liquida:  $40000 \left[\frac{L}{mes}\right]$

- Producción mensual de aislante térmico: 40000  $[\frac{L}{mes}]$
- Producción diaria de cada producto considerando 20 días laborales: 2000  $[\frac{L}{dia}]$
- Producción horaria de los 2 producto suponiendo 8 horas de trabajo: 500  $[\frac{L}{hora}]$

### 3.2 Proceso productivo

El proceso productivo lo pudimos deducir en base a información brindada por los fabricantes de maquinarias y un Ingeniero Químico, el cual asesora a la empresa.

En la siguiente tabla se indica los componentes utilizados para la fabricación de la membrana líquida. Para el caso del aislante térmico se utiliza otro árido en reemplazo y con una cantidad similar, por lo tanto, es suficiente con plantear los dos procesos de fabricación iguales.

| <b>MATERIAS PRIMAS PINTURAS</b> |            |
|---------------------------------|------------|
| <b>COMPUESTO</b>                | <b>%MP</b> |
| AGUA                            | 14,88      |
| ANTIESPUMA                      | 0,08       |
| ESPEZANTE                       | 0,55       |
| CORRECTOR DE PH                 | 0,05       |
| ADITIVO 1                       | 0,10       |
| ADITIVO 2                       | 0,18       |
| DISPERSANTE                     | 0,23       |
| ADITIVO 3                       | 3,00       |
| ADITIVO 4                       | 0,78       |
| PIGMENTO                        | 9,50       |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| ARIDO                   | 42,00 |
| EMULSION 1              | 25,00 |
| EMULSION 2              | 3,48  |
| FUNGICIDA y BACTERICIDA | 0,25  |
| <b>TOTAL</b>            | 100   |

*Tabla 2 - Fórmula genérica de pinturas*

La columna izquierda nos indica los compuestos de manera genérica y la columna derecha nos dice su porcentaje en masa para la fórmula de la membrana Líquida.

El proceso productivo para fabricar estos tipos de pintura se basa en dosificar correctamente cada uno de estos compuestos y realizar la mezcla en una maquina dispersora. Este tipo de máquinas se caracteriza por la capacidad de agitar los compuestos mediante la rotación de alta velocidad. De esta manera los compuestos solidos se trituran y mezclan rápidamente con los productos líquidos.

### **3.3 Selección de las maquinas principales**

El objetivo es producir  $2000 \left[ \frac{L}{\text{día}} \right]$  en cada dispersora y el tiempo de producción de un lote de pintura lo estimamos entre 60 y 90 [min]. Más adelante, podremos afinar estos cálculos una vez que hayamos diseñado el proceso.

#### **3.3.1 Selección de las dispersoras**

Si tenemos en cuenta que cada dispersora trabaje 6 horas podríamos organizar la producción de manera que cada dispersora produzca 4 lotes de 500[L] en 6 [h], es decir 8 lotes en total en 6 [h]. Si bien la fábrica producirá entre 8 y 9 [h], es bueno tener un margen para los procesos de limpieza e imprevistos.

Las dispersoras las seleccionamos del fabricante *VORTEX*, quien nos brinda las siguientes características:

- **Modelo:** D1V-20-VFT-TS
- **Potencia:** 20 [CV]
- **Velocidad:** 280 -1600 [rpm]
- **Diámetro disco dispersor:** 300[mm]
- **Capacidad Productiva:** 600 [L]
- **Carrera:** 1300 [mm]
- **Dimensión aproximada:** 2.015x600x1.765 [mm] (largo/ancho/alto)



*Imagen 5 - Maquina dispersora de pinturas VORTEX*

### **3.3.2 Selección de los batchs (recipientes de procesado)**

Elegimos los recipientes con la capacidad inmediata superior a la de producción (500 [L]). Se utilizará 2 recipientes por maquina dispersora, uno para producir y el otro para envasar. En total tendremos 4 recipientes de procesado y elegimos el siguiente modelo del mismo fabricante:

- **Volumen util:** 600 [L]
- **Volumen total:** 850 [L]
- **Diámetro interior:** 900 [mm]
- **Altura:** 1300[mm]
- **Material:** acero inoxidable AISI 304



*Imagen 6 - Batches de procesados VORTEX*

Este tipo de depósito está diseñado para funcionar con la dispersora de 20 [CV] anteriormente seleccionada.

### 3.3.3 Elección de la línea de envasado automática

La línea de envasado se elegirá considerando la futura ampliación de producción. Es decir, en vez de seleccionar una envasadora para  $80000 \left[ \frac{L}{mes} \right]$ , se considera la producción máxima ( $200000 \left[ \frac{L}{mes} \right]$ ).

Esta decisión se debe a que para realizar el envasado de pinturas de manera automática se debe contar con una línea de envasado. Estas líneas de envasado tienen el costo más alto del proceso y conviene dimensionarlas considerando futuras ampliaciones de modo que al realizar el aumento de producción, no queden obsoletas.

El modelo de línea de producción elegido es el siguiente:

- **Modelo:** PM-D/G-WG-TS-i4-bt-2ms
- **Capacidad en Envases:** desde 4 a 20 [L]
- **Tipo:** gravimétrica
- **Productividad máxima (envases de 20L):**  $4 \left[ \frac{\text{envases}}{\text{min}} \right]$
- **Dimensiones aproximadas:** 10.000x3.000x2.000 [mm] (largo/ancho/alto)



*Imagen 7 – Máquina envasadora automática VORTEX*

Calculamos la productividad diaria máxima de la maquina suponiendo que se la haga funcionar 6 horas por día:

$$Prod_{max} = 4 \left[ \frac{\text{envases}}{\text{min}} \right] * \left[ \frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right] * 6[\text{h}] = 1140[\text{envases}]$$

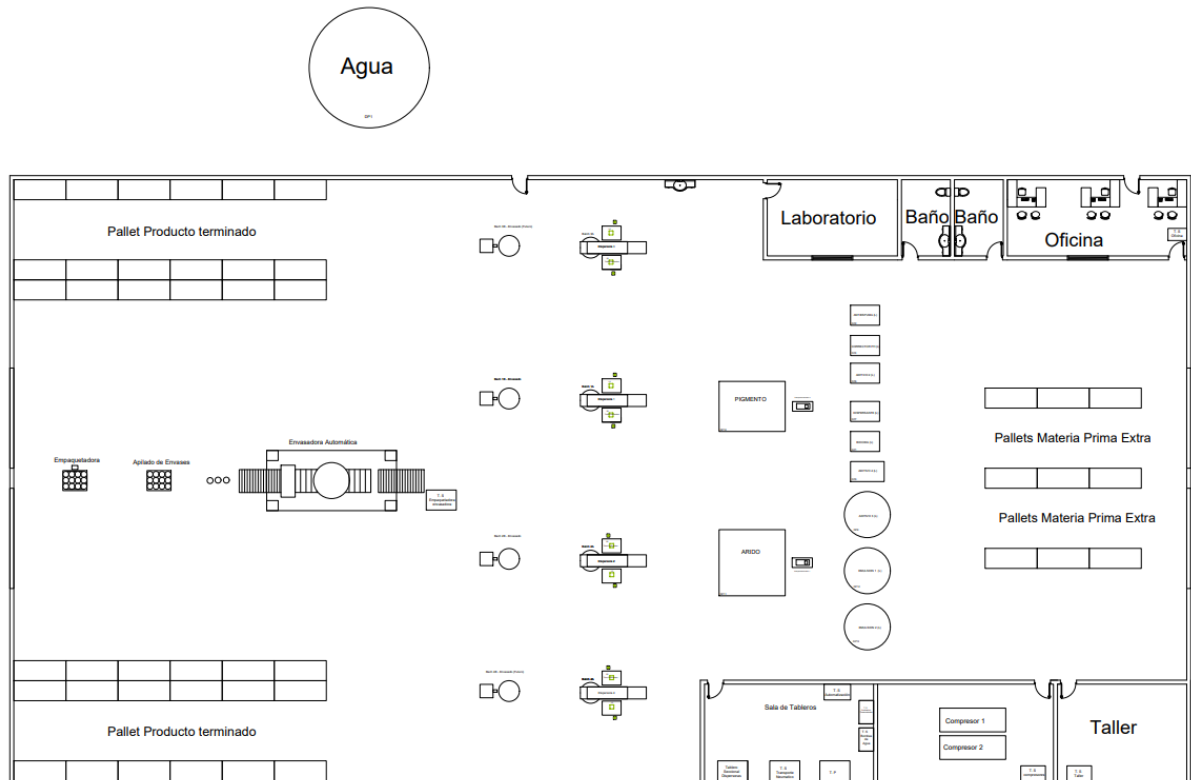
La producción máxima esperada es de  $200000 \left[ \frac{\text{L}}{\text{mes}} \right]$ , lo cual nos daría  $10000 \left[ \frac{\text{L}}{\text{dia}} \right]$ , es decir:

$$Prod_{planta} = 10000 \left[ \frac{\text{L}}{\text{dia}} \right] * \left[ \frac{1\text{envase}}{20\text{L}} \right] = 500 [\text{envases}]$$

Si bien en estos calculo no se tuvieron en cuenta la producción en envases pequeños, como la maquina tiene una capacidad productiva del doble que la producción esperada, podemos concluir que es apta para nuestro proceso.

### 3.4 Planta productiva

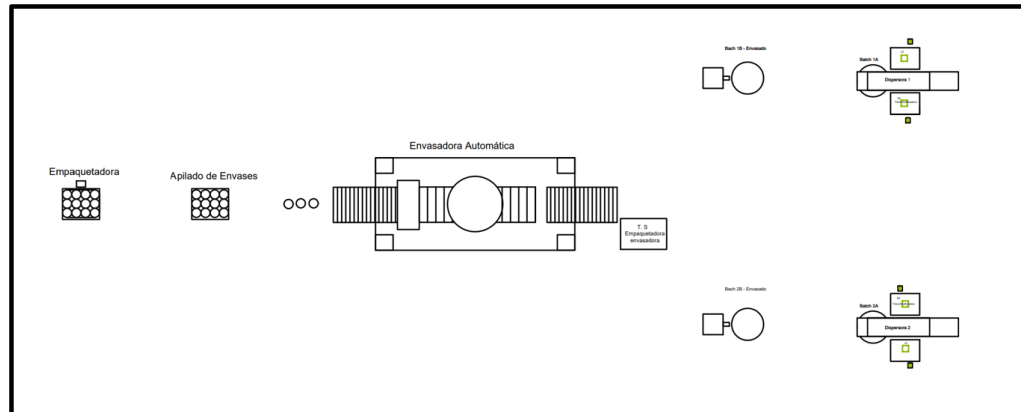
Planteamos la ubicación de las maquinas considerando la planta a máxima capacidad productiva, es decir, los  $200000 \left[ \frac{L}{mes} \right]$ . El layout es el siguiente:



*Imagen 8 - Layout de planta productiva*

Como se puede ver en la imagen 8, se cuenta con 4 máquinas dispersoras ubicadas en el centro de la planta, las cuales en un principio serán 2 y luego se sumarán las otras 2. Mientras que a la derecha de las dispersoras se ubican los depósitos de materia prima.

A la izquierda de las dispersoras se cuenta con un batch móvil, utilizado para poderlo intercambiar por el batch de producción, de esta manera, bajamos los tiempos muertos de la producción.



*Imagen 9 -Detalle Layout zona de envasado*

Los batches móvil se conectan a unos equipos de bombeo para llevar el producto hasta la maquina envasadora. Desde este punto se realiza el bombeo de producto terminado hasta la envasadora automática. Este equipo de bombeo se trata de una bomba neumática de doble diafragma como la de la imagen 10, con un accionador de la misma y un sistema de acople rápido para poder conectar una manguera proveniente desde el batch con producto terminado.



*Imagen 10 - Bomba neumática de doble diafragma*

Este tipo de bombas ideales para trabajar con pinturas y productos químicos debido a su capacidad de poder transportar líquidos de alta viscosidad y densidad.

Para realizar la selección de esta tenemos en cuenta que se utilizará cañería de 2 pulgadas de diámetro nominal para tener un desagote rápido del batch. Entonces seleccionamos una bomba neumática del fabricante ARO con entrada y salida del mismo diámetro. Como se trata de un tramo de cañería menor a 10 metros, no es necesario realizar la verificación de las pérdidas de carga de la cañería. Seleccionamos el siguiente modelo:

|  |  |
|--|--|
| Relación:  | 1:1  |
| GPM máximo (LPM):                                  | 184 (696)                                      |
| Desplazamiento por ciclo en galones (litros):      | 1.4 (5.3)                                      |
| Entrada de aire (hembra):                          | 3/4 - 14 NPT                                   |
| Entrada/salida de fluido:                          | 2" ANSI/DIN hybrid flange (side)               |
| Presión máxima de funcionamiento en psi (bar):     | 120 (8.3)                                      |
| Diámetro máximo de sólidos suspendidos en in (mm): | 1/4 in (6.4)                                   |
| Peso en lb (kg):                                   | Polipropileno 85.3 (38.7)<br>PVDF 110.9 (50.3) |
| Elevación máxima por succión en seco en ft (m):    | 14 (4.2)                                       |
| Nivel de sonido:                                   | 70 PSI 60 ciclos/min 85.0 db(A)                |
| Silenciador incluido:                              | 93139  |



*Imagen 11 - Bomba neumática ARO para producto terminado*

Este modelo cuenta con un caudal máximo de  $184 \left[ \frac{L}{min} \right]$ , entonces podemos calcular el tiempo de llenado de batch, dato que necesitaremos más adelante.

$$t_{desc} = \frac{600 [L]}{184 \left[ \frac{L}{min} \right]} = 3,26 [min]$$

Continuando con el proceso, una vez que los envases salen de la maquina envasadora, se apilan en pallets de 1x1,2 [m] con un total de 48 baldes de 20 [L] para luego empaquetarlo con una maquina envolvedora. Para seleccionar esta máquina debemos considerar los tiempos que tiene el operario para envolver los palets, de esta manera podemos evaluar si se justifica la compra de una envasadora automática o manual.

Considerando la productividad máxima de la maquina envasadora (4 envases por minuto), para completar un palet de 48 envases se necesita:

$$t_{palet} = \frac{48[\text{envases}]}{4\left[\frac{\text{envases}}{\text{min}}\right]} = 12 [\text{min}]$$

Considerando este tiempo, podemos utilizar una envolvedora de elevación de carro manual. Elegimos el siguiente modelo del fabricante argentino *DG Fabrica de Máquinas para embalaje*.

- **Modelo:** DG 350
- **Altura de columna:** 2200 [mm]
- **Diametro de plato:** 70 [mm]
- **Capacidad de Carga:** 1.800 [KG]
- **Motor:** 0,5 [Hp]
- **Velocidad media:** 9 [rpm]



*Imagen 12 - envolvedora semiautomática marca DG*

Considerando aproximadamente 15 vueltas, el tiempo de envoltura es de:

$$t_{envoltura} = \frac{15 [\text{vueltas}]}{9\left[\frac{\text{vueltas}}{\text{minuto}}\right]} = 1,7 [\text{min}]$$

Podemos concluir que la maquina elegida es la correcta para el trabajo. Cabe destacar que se podría utilizar una envolvedora automática, sin embargo, no se justica el gasto.

Para ir finalizando con el proceso, desde este punto se paletizará con un montacarga “Sampi”. Para la capacidad máxima consideramos que un palet tendrá un máximo de 48 baldes de 20 [L], los cuales pueden pesar con máximo 30 [KG], esto da un total de:

$$P_{max} = 48 * 30 [KG] = 1140 [KG]$$

Seleccionamos un montacarga Sampi marca *TOYOTA* de 2500 [KG] y 6 metros de elevación:



*Imagen 13 - Montacarga Sampi TOYOTA*

### 3.5 Logística de la materia prima

En esta etapa definiremos los depósitos y la manera en que llevaremos a cabo la logística de la materia prima.

Como primer paso calculamos las cantidades necesarias de cada compuesto por cada lote de producción (500 [L]). Esto se calcula en base a la fórmula de la membrana líquida.

El cálculo lo realizamos en la siguiente tabla:

| <b>MEMBRANA LIQUIDA</b> |            |           |               |
|-------------------------|------------|-----------|---------------|
| <b>Referencia</b>       | <b>%MP</b> | <b>Kg</b> | <b>Estado</b> |
| AGUA                    | 14,88      | 96,40     | L             |
| ANTIESPUMA              | 0,08       | 0,54      | L             |
| ESPEZANTE               | 0,55       | 3,56      | S             |
| CORRECTOR DE PH         | 0,05       | 0,32      | L             |
| ADITIVO 1               | 0,10       | 0,62      | S             |
| ADITIVO 2               | 0,18       | 1,16      | L             |
| DISPERSANTE             | 0,23       | 1,52      | L             |
| ADITIVO 3               | 3,00       | 19,44     | L             |
| ADITIVO 4               | 0,78       | 5,05      | L             |
| PIGMENTO                | 9,50       | 61,59     | S             |
| ARIDO                   | 42,00      | 272,18    | S             |
| EMULSION 1              | 25,00      | 162,01    | L             |
| EMULSION 2              | 3,48       | 22,55     | L             |
| FUNGICIDA y BACTERISIDA | 0,25       | 1,62      | L             |

*Tabla 3 - Dosificación de materia prima*

En la tabla 3 se observa las cantidades necesarias de cada compuesto medidas en [KG] y si se trata de compuestos sólidos o líquidos. Esta información es muy importante para poder definir los depósitos. Tendremos en cuenta la cantidad necesaria para la producción de 80000 litros mensuales de pintura, tomando como referencia las dosis de la membrana líquida. En base a los volúmenes necesarios elegimos el tamaño de depósito y cada cuanto tiempo es necesario hacer la recarga.

| Membrana líquida para 80000 L Mensuales |                         |           |                 |          |
|---|-------------------------|-----------|-----------------|----------|
| Items                                   | Referencia              | Logística | Mínima Cantidad | Deposito |
| 1                                       | AGUA                    | Semanal   | 5000 L          | 7200 L   |
| 2                                       | ANTIESPUMA              | Mensual   | 100 L           | 350 L    |
| 3                                       | ESPEZANTE               | Mensual   | 600 KG          | 2000 KG  |
| 4                                       | CORRECTOR DE PH         | Mensual   | 100 L           | 350 L    |
| 5                                       | ADITIVO 1               | Mensual   | 100 KG          | 2000 KG  |
| 6                                       | ADITIVO 2               | Mensual   | 200 L           | 350 L    |
| 7                                       | DISPERSANTE             | Mensual   | 250 L           | 350 L    |
| 8                                       | ADITIVO 3               | Mensual   | 3500 L          | 4200 L   |
| 9                                       | ADITIVO 4               | Mensual   | 1000 L          | 1100 L   |
| 10                                      | PIGMENTO                | Semanal   | 2500 KG         | 10000 KG |
| 11                                      | ARIDO                   | Semanal   | 15000 KG        | 15000 KG |
| 12                                      | EMULSION 1              | Semanal   | 6500 L          | 7200 L   |
| 13                                      | EMULSION 2              | Mensual   | 4000 L          | 4200 L   |
| 14                                      | FUNGICIDA y BACTERISIDA | Mensual   | 300 L           | 350 L    |

Tabla 4 - Depósitos y gestión de materia prima

En el cuadro de la tabla 4 se realizó el cálculo de la dimensión mínima que debe tener cada uno de los depósitos para poder contar con la capacidad de producción mensual o semanal según corresponda en la columna de “mínima cantidad”, mientras que en la columna “deposito” se seleccionó el tamaño comercial del mismo. Estos depósitos se pensaron con el propósito de ser capaces de poder almacenar el total de la materia prima ni bien se nos es entregada. Por ejemplo, si necesitamos 0,54 [KG] de antiespuma, para un lote de producción (500L), en un mes se necesitarán:

$$\frac{0,54[\text{Kg antiespuma}]}{500[\text{L de Pintura}]} * 80000[\text{L de Pintura}] = 86,4[\text{KG de antispuma}]$$

Y como la densidad es muy similar a la del agua, con un depósito de 100 [L] tenemos lo suficiente de antiespuma para un mes de producción.

### 3.5.1 Selección de los depósitos de líquidos

Para la dimensión de los depósitos se selecciona depósitos con capacidades inmediatas superiores a las determinadas en la tabla 4. Los depósitos seleccionados son del fabricante argentino *ROTOR SRL*.

Para los depósitos de menor capacidad de líquidos se seleccionan tanques horizontales de dos capacidades, 350 y 1100 [L] según la capacidad necesaria.



*Imagen 14 - Depósitos de líquidos de 350L Y 1100L marca ROTOR*

Para los líquidos de mayor capacidad se utilizará el modelo Silo Plástico con base metálica del mismo fabricante. Los volúmenes elegidos son 4200 y 7200 [L] según el líquido que corresponda.



*Imagen 15 - Depósitos de líquidos tipo silo de 4200L y 7200L marca ROTOR*

### 3.5.2 Selección de los depósitos de sólidos

Por otro lado, para el caso de los sólidos se utilizarán silos flexibles de tela modelo STP del fabricante *PRILLWITZ*. Estos equipos tienen integrado un sistema de vibración que permite que los sólidos se puedan desplazar con facilidad. Se utilizarán para 2000, 10000 y 15000 [KG].

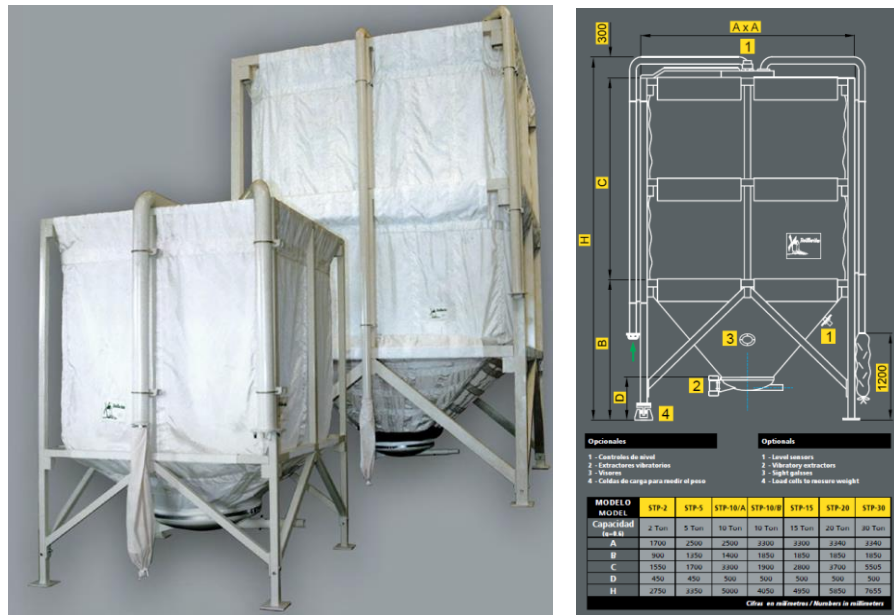


Imagen 16 - Depósito de sólidos marca PRILLWITZ

### 3.5.3 Depósito extra de materia prima

La materia prima necesaria para la producción mensual se ubicará en los depósitos anteriormente seleccionados, sin embargo, consideramos que es importante disponer de un depósito extra de materias primas. De esta manera, ante un imprevisto o el incumplimiento de un proveedor, se puede seguir produciendo.

Este depósito lo dimensionamos en función de los componentes más solicitados, es decir, los del stock semanal de la tabla 4:

- 2500 [KG] de pigmento
- 15000 [KG] de Árido
- 6500 [L] de emulsiones

Los compuestos solidos vienen en presentaciones de bolsas de 25 [KG], los compuestos líquidos en bidones de 20 [L] y ambos se pueden agrupar en palets.

Los compuestos solidos se agrupan en pallets de 50 bolsas, lo cual equivale a 1250 [KG] por pallet. Los compuestos líquidos se agrupan en pallets de 48 bidones de 20 [L] lo cual equivale a 1250 [KG] en total. Estos pallets se ubicarán en racks industriales como se muestra en la siguiente imagen:



*Imagen 17 - ejemplo de racks para palets*

Obteniendo la cantidad necesaria:

- 2 pallets de pigmento
- 12 pallets de Árido
- 6 pallets de emulsiones

En total necesitamos 20 unidades de Pallets como mínimo para la producción de 80000 [L] mensuales mientras que se necesitan entre 40 y 50 unidades para la capacidad productiva de 200000 [L] mensuales.

Se seleccionan los racks del fabricante *Alfa Racks SA*.

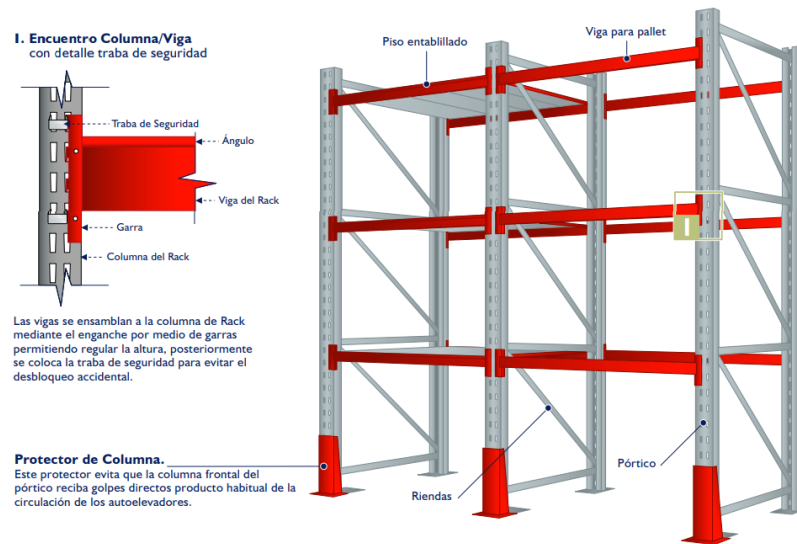


Imagen 18 - Esquema de racks de Alfa Racks

Elegimos el modelo de 2,4 [m] de viga x 2 [m] de pórtico. Este conjunto cuenta con 12 largueros y 4 bastidores como se muestra en el siguiente esquema:

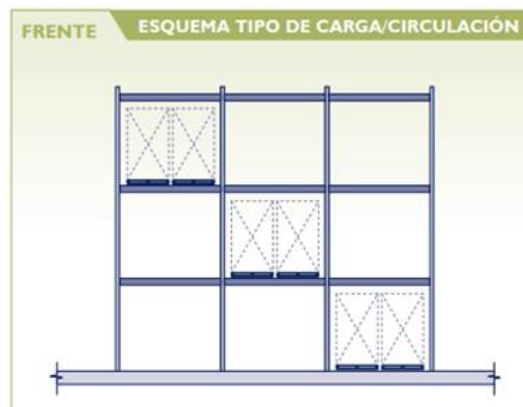


Imagen 19 - Distribución de racks recomendada

En esta distribución podemos ubicar en total 18 pallets, por lo tanto, consideramos 3 conjunto de estos.

### 3.6 Depósito de producto terminado

Para el depósito de producto terminado debemos tener en cuenta que solo se almacenarán baldes de pintura de 20 [L], los baldes saldrán de la zona de producción ya montados en un pallet y envueltos en film protector.



*Imagen 20 - Ejemplo depósito de pinturas*

Los baldes de 20 [L] donde se envasa la pintura los provee el fabricante *Florek Hnos* y *altomare SRL*. En la siguiente imagen se muestra el balde de 20 [L] de aislante térmico.



*Imagen 21 - Baldes de 20 [L] de producto terminado*

El peso máximo que puede soportar un balde de 20 [L] se estima en 175 [KG], el diámetro del balde es de 309 [mm], la altura es de 389 [mm] y el peso de dicho balde vacío es de 1,1 [KG] aproximadamente. Si la densidad relativa de la pintura es como máximo pintura  $1,5 \left[ \frac{Kg}{L} \right]$  entonces cada balde tendrá un peso de:

$$P_{balde} = 20 [L] * 1,5 \left[ \frac{KG}{L} \right] + 1,1 [KG] = 31,1 [KG]$$

La medida del pallet nos permite ubicar 4x3 baldes, es decir 12 baldes por cada piso y se acepta hasta 4 baldes de altura, es decir un total de 48 baldes por pallet. Se considera tener una cantidad de producto terminado equivalente a la producción de un mes a máxima producción, es decir, 200 mil litros mensuales. Esto equivale a un total de:

$$\frac{200000[L]}{20\left[\frac{L}{balde}\right]} = 10000 [baldes]$$

Como entran 48 Baldes por pallets, se necesita un total de:

$$\frac{10000[baldes]}{48\left[\frac{baldes}{pallet}\right]} = 209[Pallets]$$

Como se puede ubicar 2 pallets por viga y 18 pallets por conjunto, utilizando 12 conjuntos de racks se puede ubicar 216 pallets.

### 3.7 Ubicación de la planta

Se determinaron las dimensiones de la planta en función del tamaño y ubicación de los depósitos de materia prima, cañerías de transporte, maquinas, movimiento de auto elevadores, distancias mínimas de trabajo, depósito de producto terminado y sectores para trabajos no productivos. La planta diseñada tiene como superficie un total de 30 [m] x 60 [m], esto es incluyendo toda la nave industrial.

Decidimos llevar a cabo la construcción de la nave industrial en un terreno en el parque industrial de la ciudad de Paraná, Entre Ríos. Para esto se selecciona un terreno de 100x100 [m<sup>2</sup>] ubicado en Alejandro Izaguirre y Jose Ubach y Roca.



*Imagen 22 - Ubicación de la planta*

Esta ubicación nos permite optimizar las distancias que hay entre los potenciales clientes y los actuales proveedores de materias primas. Los potenciales clientes se ubican a lo largo de la provincia de Entre Ríos, pero se concentran en las zonas aledañas a la ciudad de Paraná.

Los proveedores se dividen en dos grupos principales, los productos químicos industriales y los minerales. Para los químicos industriales los mayores proveedores se ubican en Santa Fe y Buenos Aires, mientras que para los minerales tenemos proveedores en Entre Ríos y Córdoba. Además de lo anteriormente dicho, en esta ubicación tenemos se cuenta con la posibilidad de solicitar los servicios públicos necesarios como agua, cloaca, gas y electricidad.

Con respecto al servicio eléctrico, tenemos la facilidad de contratar bajada de potencia eléctrica.

Otro factor importante de elegir el Parque Industrial es la posibilidad de acceder a financiación y el fácil acceso para vehículos pesados.

## 4. Automatización de la planta de producción

### 4.1 Dosificación de materia prima en batches de producción

Según la información que se recopiló de diferentes plantas de producción de pinturas y a partir información brindada por parte de Ingenieros de procesos en fábricas de pinturas, en las empresas de pequeña producción (menor a  $200 \left[\frac{tn}{mes}\right]$ ) no se suele contar con procesos automatizados, siendo la dosificación manual la más utilizada para todos los procesos y componentes. Sin embargo, en producciones grandes (mayores a  $1000 \left[\frac{tn}{mes}\right]$ ) se tiende a automatizar la dosificación para evitar el error humano y obtener mayor calidad.

El grado de automatización en la elaboración de pinturas afecta mucho en la calidad del producto y la homogeneidad de lotes. Esta es una de las problemáticas que suelen tener aquellas empresas que realizan una dosificación manual, ya que la probabilidad de error humano es muy alta, teniendo en cuenta que se debe dosificar entre 10 a 14 compuestos diferentes.

En este proyecto nos enfocaremos en realizar un sistema automatizado que sea viable para producciones relativamente pequeñas, de manera que se pueda competir en calidad con una empresa de mayor producción.

Como primer paso calculamos las cantidades necesarias de cada compuesto por cada lote de producción, es decir la capacidad máxima del depósito (500 [L]). Esto se realizó anteriormente en la tabla 3.

Como ya sabemos, los compuestos tienen un orden de mezclado determinado y tenemos la dificultad de contar con compuestos con pesajes muy distintos, ya que, por ejemplo, el corrector de PH se debe pesar 0,32 [KG] mientras que el árido 273[KG]. En base a esto se plantearon las siguientes 3 soluciones y se justificará la elección de la más práctica.

#### 4.1.1 Dosificación con una sola celda de carga ubicada en el batch

Para llevar a cabo esta solución se necesitaría pesar el depósito de procesado con 4 celdas de carga en su base y un sumador integrador, como se muestra en el ejemplo de la imagen 23.



*Imagen 23 - Ejemplo de celdas de carga en batch*

La señal de salida de la celda de carga sería interpretada por un PLC, es decir, un equipo controlador lógico programable, el cual se programaría para accionar bombas hidráulicas y válvulas neumáticas para dosificar los líquidos, mientras que los sólidos se dosificarían mediante actuadores neumáticos.

Esta solución cuenta con la ventaja de ser versátil y relativamente sencilla de realizar, pero cuenta con la problemática de la sensibilidad de la celda de carga. Debido al peso total entre el lote de producción y el depósito, se debería usar una celda de carga de al menos 1000 [KG], la cual tiene aproximadamente 3000 divisiones, por lo tanto, la mínima sensibilidad es:

$$\frac{1000[KG]}{3000 \text{ divisiones}} = 0,333 \left[ \frac{KG}{\text{división}} \right]$$

Con este sistema no es posible dosificar compuestos chicos debido a su baja precisión, por lo tanto, se deberían dosificar de manera manual la mayoría de ellos.

#### 4.1.2 Dosificación con una celda de carga y caudalímetros para los líquidos

Utilizando el sistema anterior solamente para el grueso de los compuestos sólidos, podríamos dosificar los líquidos con caudalímetros y válvulas neumáticas.



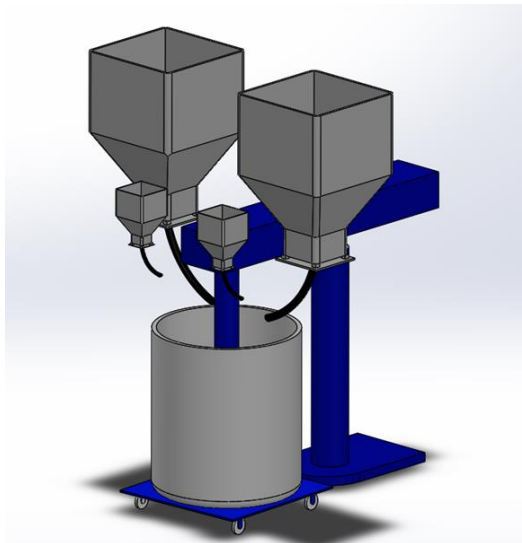
*Imagen 24 - caudalímetro*

La ventaja de incluir los caudalímetros es la posibilidad de dosificar todos los líquidos, sin embargo, esto encarece mucho el proyecto ya que hay que incluir un

caudalímetro por cada una de las cañerías de líquidos. Además, seguimos con el problema de no poder dosificar los compuestos sólidos más finos, es decir de pesaje menor a 1 [KG] por lote de producción

#### 4.1.3 Dosificación con 4 tolvas de pasado y celdas de carga

Esta solución es diferente a las anteriores. Se plantea utilizar tolvas para el pesado de materias primas y luego volcarlas a la maquina dispersora. Para esto se debe identificar cada compuesto y direccionarlo hacia una tolva.



*Imagen 25 - Esquema dosificación con tolvas de pesado*

Para poder realizar el pesado de todos los compuestos de la manera más precisa posible y técnicamente viable vamos a disponer de 4 tolvas con celdas de cargas. Se plantea las siguientes tolvas:

- 1 tolva con celda de carga para líquidos livianos
- 1 tolva con celda de carga para líquidos pesados
- 1 tolva con celda de carga para sólidos livianos
- 1 tolva con celda de carga para sólidos pesados

La imagen 26 muestra como estarán conectados los depósitos de la materia prima con las tolvas de pesado y el depósito de mezclado, todo esto se repite para cada línea de producción.

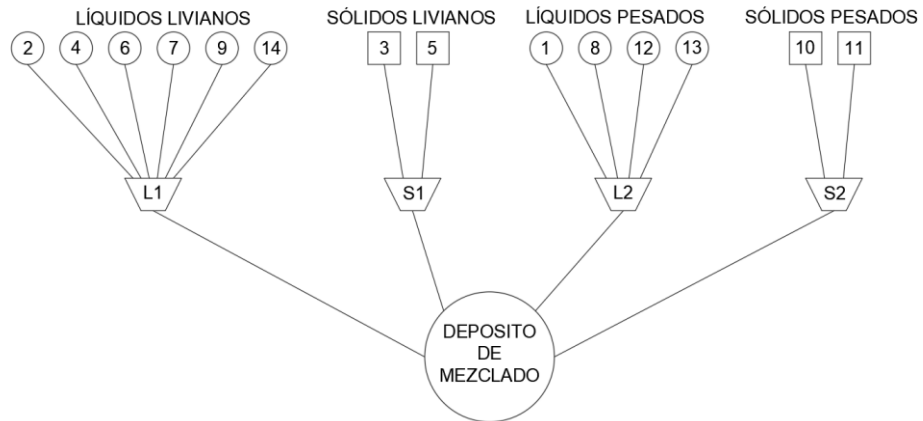


Imagen 26 – Depósitos y tolvas

La tabla 5 muestra las referencias utilizadas en la imagen 26. Además, recordamos cada uno de los pesajes necesarios que hay que realizar y si se trata de compuestos líquidos o sólidos.

| ITEMS | Referencia              | KG     | Estado |
|-------|-------------------------|--------|--------|
| 1     | AGUA                    | 96,40  | L      |
| 2     | ANTIESPUMA              | 0,54   | L      |
| 3     | ESPEZANTE               | 3,56   | S      |
| 4     | CORRECTOR DE PH         | 0,32   | L      |
| 5     | ADITIVO 1               | 0,62   | S      |
| 6     | ADITIVO 2               | 1,16   | L      |
| 7     | DISPERSANTE             | 1,52   | L      |
| 8     | ADITIVO 3               | 19,44  | L      |
| 9     | ADITIVO 4               | 5,05   | L      |
| 10    | PIGMENTO                | 61,59  | S      |
| 11    | ARIDO                   | 272,18 | S      |
| 12    | EMULSION 1              | 162,01 | L      |
| 13    | EMULSION 2              | 22,55  | L      |
| 14    | FUNGICIDA y BACTERISIDA | 1,62   | L      |

Tabla 5 - Referencias dosificación

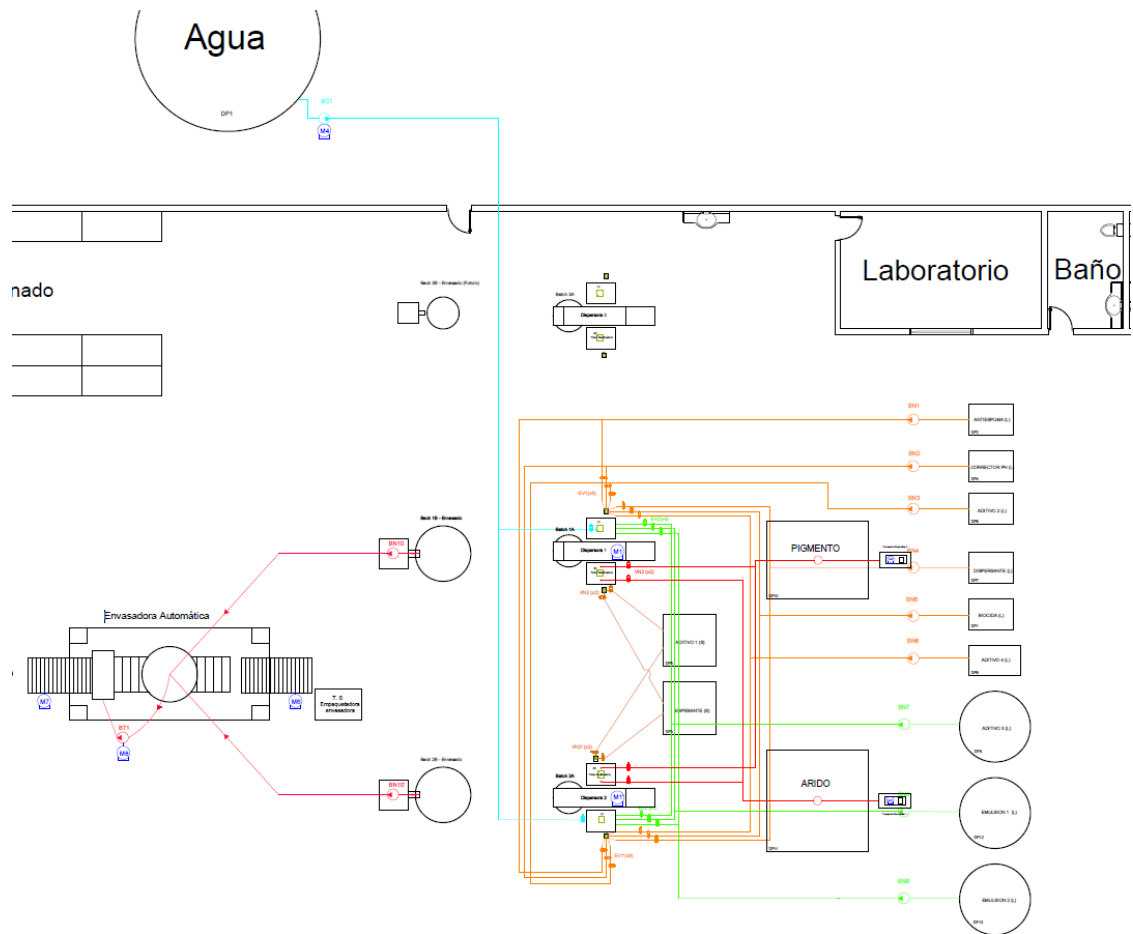
Por otro lado, las tolvas de pesaje para la dosificación son las denominadas L1, S1, L2 y S2, donde:

- L1: Tolva dosificadora que cuenta con una celda de carga que pesará los líquidos menores a 5 [KG].
- S1: Tolva dosificadora que cuenta con una celda de carga que pesará los sólidos menores a 5 [KG].
- L2: Tolva dosificadora que cuenta con una celda de carga que pesará los líquidos con un peso entre 20 [KG] y 300 [KG].
- S2: Tolva dosificadora que cuenta con una celda de carga que pesará los sólidos con un peso entre 20 [KG] y 300 [KG].

#### **4.2 Justificación y desarrollo de la solución definitiva**

Elegimos la dosificación con 4 tolvas de pesado y celdas de cargas. Es la solución más optima, ya que, dentro de las soluciones que permiten la dosificación automática de todos los compuestos, es la que tiene un menor costo.

Representamos el esquema de automatización en la planta productiva:



*Imagen 27 - Layout automatización*

Se representa con diferente color cada uno de los circuitos de cada tolva dosificadora:

- Naranja: circuito de líquidos livianos (L1)
- Verde: circuito de líquidos pesados (L2)
- Marrón: circuito de sólidos livianos (S1)
- Rojo: circuito de sólidos pesado (S2)

### 4.3 Explicación del proceso

Cada circuito cuenta con una celda de carga ubicada en la tolva de pesado. La señal de salida de la celda de carga será interpretada por un PLC, el cual se encarga de enviar la señal de accionamiento a los actuadores que se encargaran de dosificar. Se explicará el proceso de automatización sectorizando en los 4 circuitos mencionados anteriormente.

#### 4.3.1 Circuito de líquidos livianos

Una vista lateral del sistema de dosificación de líquidos livianos se muestra en la imagen 28. Podemos observar que se cuenta con cañerías para transporte de líquidos (color naranja) y cañerías para aire comprimido (color azul) para el accionamiento de la bomba a diafragma. Además, se señala la posición de las electroválvulas y celdas de carga.

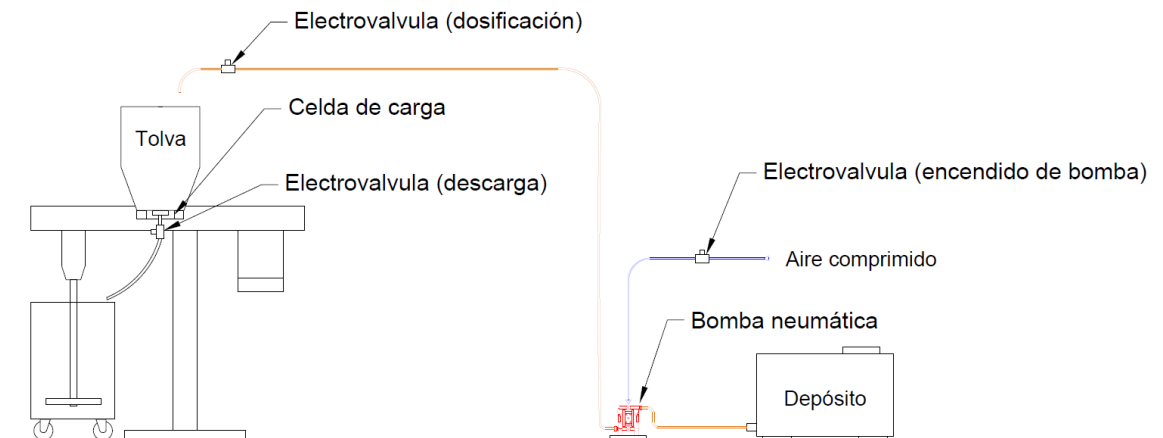


Imagen 28 – Vista lateral de circuito líquidos livianos

Mediante activación a la electroválvula del circuito neumático, se acciona la bomba enviando el líquido hasta la tolva dosificadora. La dosificación del líquido es controlada mediante el accionamiento de la electroválvula de dosificación y la señal de la celda de

carga. Por último, entre la tolva de pesaje y el batch hay una electroválvula para la descarga, la cual se abre una vez que se termina el pesaje en la celda de carga y a través de una cañería descarga el líquido en la tolva.

El equipo encargado de leer las señales provenientes de la celda de carga y enviar señales de accionamiento a las electroválvulas es el PLC.

### Selección de cañerías

Comenzamos por seleccionar las cañerías utilizadas, en este caso se utiliza de acero al carbono sin costura Schedule 40 según norma ASTM A53. Este tipo de cañería es recomendado para la industria química. Además, presentan las ventajas de ser más económicas que otras opciones como las de acero inoxidable y son capaces de soportar altas presiones, mayor a  $3000 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$ . Como todos los fluidos se van a transportar a baja presión no consideramos necesario realizar una verificación mecánica de las cañerías, pero si realizaremos los cálculos de pérdidas de carga a vencer por la bomba.

Planteamos transportar todos estos livianos en cañería de  $\frac{3}{4}$ ", las medidas de estos se obtienen de la tabla 6:

| Diámetro Nominal | Dimen. Exterior | STD             |       |        | SCH-40          |       |        |
|------------------|-----------------|-----------------|-------|--------|-----------------|-------|--------|
|                  |                 | Espesor Nominal | Peso  |        | Espesor Nominal | Peso  |        |
|                  |                 |                 | kg/m  | kg     |                 | mm    | kg/m   |
| Pulg.            | mm              | mm              | kg/m  | kg     | mm              | kg/m  | kg     |
| 1/4              | 13.7            | 2.24            | 0.63  | 3.78   | 2.24            | 0.63  | 3.78   |
| 3/8              | 17.1            | 2.31            | 0.84  | 5.04   | 2.31            | 0.84  | 5.04   |
| 1/2              | 21.3            | 2.77            | 1.27  | 7.62   | 2.77            | 1.27  | 7.62   |
| 3/4              | 26.7            | 2.87            | 1.69  | 10.14  | 2.87            | 1.69  | 10.14  |
| 1                | 33.4            | 3.38            | 2.50  | 15     | 3.38            | 2.50  | 15     |
| 1 1/4            | 42.2            | 3.56            | 3.39  | 20.34  | 3.56            | 3.39  | 20.34  |
| 1 1/2            | 48.3            | 3.68            | 4.05  | 24.3   | 3.68            | 4.05  | 24.3   |
| 2                | 60.3            | 3.91            | 5.44  | 32.64  | 3.91            | 5.44  | 32.64  |
| 2 1/2            | 73.0            | 5.16            | 8.63  | 51.78  | 5.16            | 8.63  | 51.78  |
| 3                | 88.9            | 5.49            | 11.29 | 67.74  | 5.49            | 11.29 | 67.74  |
| 4                | 114.3           | 6.02            | 16.07 | 96.42  | 6.02            | 16.07 | 96.42  |
| 5                | 141.3           | 6.55            | 21.77 | 130.62 | 6.55            | 21.77 | 130.62 |

Tabla 6 - Medidas de cañerías metálicas

### Selección de bombas

Todos estos líquidos industriales se impulsarán con bombas neumáticas de doble diafragma. Para esto se seleccionan bombas del fabricante ARO de 3/4" para todas las cañerías de este grupo de líquidos. El modelo de la bomba es PE07.

|  |  |
|--|--|
| Relación:                                    | 1:1  |
| Caudal máximo:                               | 14.8 gpm (56 lpm)                                    |
| Desplazamiento por ciclo:                    | 0.032 galones (0.12 litros)                          |
| Entrada de aire: (hembra)                    | 1/4 - 18 PTF SAE Corto                               |
| Entrada/salida de fluido:                    | 1/2 - 14 NPTF - 1<br>Rp 1/2 (1/2 - 14 BSP, paralelo) |
| Presión máxima de funcionamiento:            | 100 psi (6.9 bar)                                    |
| Diámetro máximo de sólidos suspendidos:      | 3/32 in (2.4 mm)                                     |
| Peso: lb (kg)                                | 5.61 (2.54)  |
| Elevación máxima por succión en seco: ft (m) | 15.0 (4.5)   |
| Nivel de sonido:                             | 70 PSI 60 ciclos/min 75.0 db(A)                      |



Imagen 29 - Modelo PE07 bomba neumática 3/4" de ARO

### Verificación de la bomba y diámetro de cañería elegido

La elección de la bomba y la cañería debe justificarse mediante cálculos de mecánica de fluidos. Estos cálculos nos permiten saber si la bomba es capaz de superar la altura total a elevar y las pérdidas del circuito hidráulico. Para estos cálculos utilizamos el

software Mathcad y el Apunte de la Catedra Mecánica de Fluidos y Maquinas Fluidodinámicas [3] para obtener propiedades físicas y coeficientes.

La verificación la realizaremos en la cañería más solicitada, la cual deducimos que es la que transporte el sólido más viscoso y de la cañería de mayor longitud. El líquido con mayor viscosidad es uno de los aditivos, el cual posee una viscosidad cinemática aproximada de  $20 \left[ \frac{mm^2}{s} \right]$  y la cañería más extensa es la del antiespuma según la imagen 27, la cual posee 40 metros. Combinaremos ambos datos para que sea lo más desfavorable posible.

- Datos del fluido

$$v = 2 \times 10^{-6} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \text{ (viscosidad cinemática del aditivo)}$$

$$L_1 = 40 \text{ [m]} \text{ (largo de la cañería)}$$

$$D_1 = D_{ext} - 2 * e = 20,96 \text{ [mm]} \text{ (diámetro interior de cañería)}$$

- Perdidas por accesorios

Del nomograma 2 del apunte de mecánica de fluidos se obtienen las perdidas equivalentes. Se consideran los siguientes accesorios:

| Accesorio        | Perdida | Cantidad | Total |
|------------------|---------|----------|-------|
| Codo normal ¾"   | 0,5 m   | 7        | 3,5 m |
| Llave de paso ¾" | 0,2     | 1        | 0,2 m |
| <b>TOTAL</b>     |         |          | 3,7 m |

*Tabla 7 - Calculo de perdida por accesorio 1*

$$\Delta L_1 = 3,7 \text{ [m]}$$

- Cálculo de las pérdidas totales

Los siguientes cálculos son necesarios para obtener el coeficiente de rugosidad absoluta:

$$k = 0,05 \text{ [mm]} \text{ (acero laminado nuevo – tabla 23 apunte)}$$

$$r = \frac{k}{D_1} = 0.002 \text{ (coeficiente de rugosidad relativa)}$$

$$Q_1 = 56 \left[ \frac{L}{\text{min}} \right] \text{ (caudal de la bomba según imagen 29)}$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{\frac{\pi * D_1^2}{4}} = 2.705 \left[ \frac{m}{s} \right] \text{ (velocidad del fluido)}$$

$$N_{re1} = \frac{V_1 * Q_1}{v_1} = 2,85 \times 10^4 \text{ (número de Reynolds para este fluido)}$$

Con el coeficiente de rugosidad relativa y el número de Reynolds podemos obtener el coeficiente de rugosidad absoluta en el diagrama de Moody:

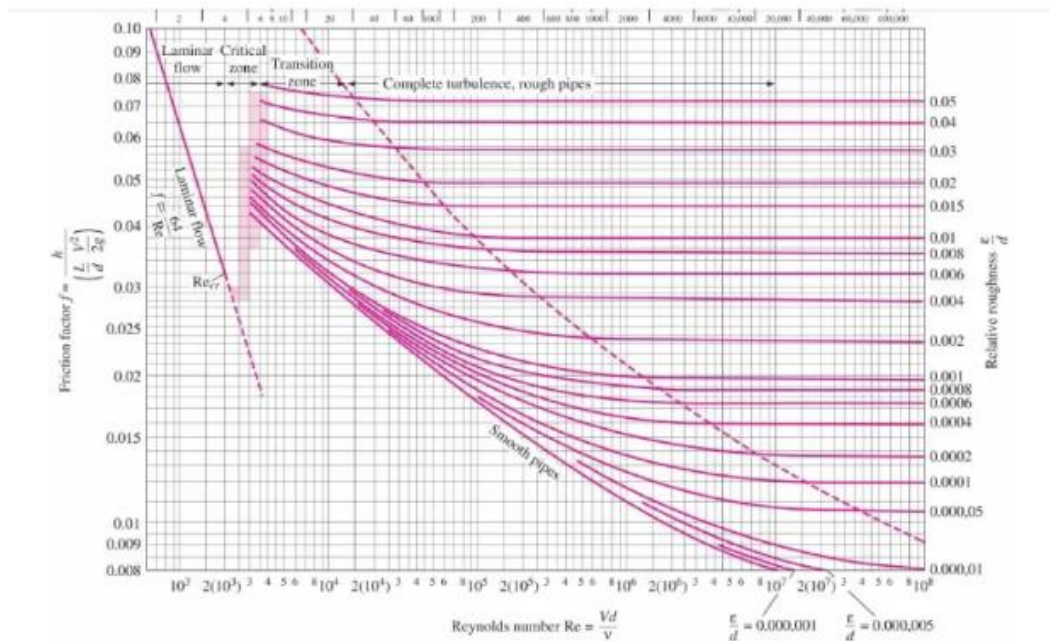


Imagen 30 - Diagrama de Moody [3]

$$\lambda_1 = 0,035$$

Calculamos la altura equivalente por pérdidas de cañería con la siguiente formula:

$$H_{r1} = \frac{\lambda_1 * (L_1 + \Delta L_1) * V_1^2}{2 * g * D_1} = 27,22[m]$$

A este valor se le debe sumar la altura estática, es decir la altura a elevar el fluido.

Como las tolvas se ubican a 4 metros con respecto al piso (donde está la bomba):

$$H_{est1} = 4[m]$$

Entonces la altura a vencer total es:

$$H_{T1} = 31,22[m]$$

Podemos ver que verifica ya que la bomba tiene una presión de descarga de 6,8 [bar] lo que equivale a más de 70 [m] de altura de presión.

### Selección de electroválvulas

Las bombas neumáticas son comandadas con aire a presión, proveniente del circuito de presión de aire comprimido y mediante una electroválvula neumática se realiza el encendido y apagado de la bomba. También se utilizan electroválvulas neumáticas para el circuito de líquido, para poder realizar la dosificación en la tolva de pesaje.

Ambas electroválvulas son comandadas por el controlador PLC, el cual manda la señal para accionar las bombas neumáticas y también para dosificar los líquidos, en base a la interpretación de la señal de entrada proveniente de las celdas de carga.

En la imagen 31 se esquematiza en color azul el circuito de aire comprimido (encargado de comandar las bombas neumáticas) y el circuito de líquido a dosificar en color naranja. además, se representan los dos tipos de electroválvulas.

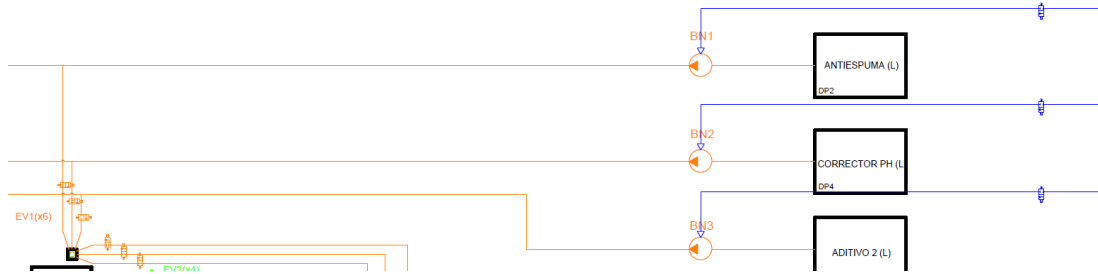


Imagen 31 - Esquema alimentación bombas neumáticas

Tanto para el circuito neumático, como el circuito hidráulico, se seleccionará electroválvulas de 2/2 (2 vías/ 2 posiciones) Normal Cerradas (NC) de del fabricante *Parker*. Para el circuito neumático se utiliza el modelo 550091DIS con diámetro de orificio de 6 [mm] y tensión de accionamiento 24 [V].



#### Especificaciones técnicas

|                                 |  |  |  |
|---------------------------------|--|--|--|
| Serie del producto:             | General Purpose Solenoid Valves                                    | Número de puertos:                           | 2  |
| Material del cuerpo:            | Brass  | Tipo de accionamiento:                       | Direct Operated  |
| Tipo de válvula:                | 2-Way  | Tensión (V):                                 | 230VAC/50-60Hz   |
| Función:                        | Normally Closed (NC)   | Energía (Vatios):                            | 14   |
| Tamaño del puerto:              | 1/4 inch   | Medio:                                       | Air, Oil   |
| Voltaje de entrada:             | 230 VAC/50-60Hz  | Tipo de puerto:                              | BSP  |
| Material del cuerpo:            | Brass  | Tamaño del orificio 2:                       | n/a  |
| Tamaño del orificio 1 (mm):     | 6  | Coefficiente del caudal 2:                   | n/a  |
| Material de la junta:           | FKM  | Tipo de bobina:                              | Coil for DIN plug connection, high power - high temperature series |
| Tamaño del orificio 1:          | 6 mm   | Temperatura mínima del fluido:               | -10 °C   |
| Coefficiente del caudal 1:      | 0.75 m <sup>3</sup> /hour, 13 L/min                                | Temperatura máxima del fluido:               | 140 °C   |
| Consumo de energía:             | 14 W   | Cumplimiento con especificaciones de bobina: | IP65   |
| Tipo de bobina:                 | Coil for DIN plug connection, high power - high temperature series | Factor de caudal 1 (l/min):                  | 13   |
| Diferencia de presiones máxima: | 6 bar  | Material de la junta:                        | FKM  |
| Diferencia de presiones mínima: | 0 bar  |  |  |

⚠ Advertencia de seguridad

Imagen 32 - electroválvula Parker 24V modelo 550091DIS

Para el circuito hidráulico se selecciona el modelo 321K3706-482606C2 de tamaño de orificio 18 [mm] y 24 [V] de accionamiento.



#### Especificaciones técnicas

|                                 |  |  |   |
|---------------------------------|--|--|---|
| Serie del producto:             | General Purpose Solenoid Valves  | Número de puertos:                           | 2   |
| Material del cuerpo:            | Brass  | Tipo de accionamiento:                       | Pilot Operated  |
| Tensión (V):                    | 24VDC  | Medio:                                       | Air, Oil  |
| Tipo de válvula:                | 2-Way  | Tamaño del orificio 1 (mm):                  | 18  |
| Función:                        | Normally Closed (NC)   | Tipo de puerto:                              | BSP   |
| Energía (Wattios):              | 2.5  | Tamaño del orificio 2:                       | n/a   |
| Tamaño del puerto:              | 1 inch   | Coefficiente del caudal 2:                   | n/a   |
| Voltaje de entrada:             | 24.0 VDC   | Temperatura mínima del fluido:               | 0 °C  |
| Material del cuerpo:            | Brass  | Temperatura máxima del fluido:               | 50 °C   |
| Material de la junta:           | FKM  | Cumplimiento con especificaciones de bobina: | IP65  |
| Tamaño del orificio 1:          | 18 mm  | Tipo de bobina:                              | Explosion proof encapsulated electrical part "mb", low power, 32 mm |
| Coefficiente del caudal 1:      | 6.6 m3/hour, 110 L/min   | Factor de caudal 1 (l/min):                  | 110   |
| Consumo de energía:             | 2.5 W  | Material de la junta:                        | FKM   |
| Tipo de bobina:                 | Explosion proof encapsulated electrical part "mb", low power, 32 mm, Explosion Proof encapsulated electrical part "mb", low power, 32 mm |  |   |
| Diferencia de presiones máxima: | 7 bar  |  |   |
| Diferencia de presiones mínima: | 0.3 bar  |  |   |

Imagen 33 - electroválvula Parker 24V modelo 321K3706-482606C2

#### Selección de Celdas de carga

Las tolvas de pesado se diseñarán con 4 patas, donde se ubicará 4 celdas de carga y un sumador. Este sistema es el mismo que se esquematiza en la imagen 23. Se utilizarán Celdas de Cargas del fabricante *Gama Basculas*. Teniendo en cuenta que el pesaje máximo es de 5 [KG] y el peso de la tolva, se elige el modelo QSF-A de 10 [KG].



*Imagen 34 - Celda de carga para 10 KG*

Los últimos actuadores del proceso son los que se encargan de liberar los compuestos pesados hasta el batch de mezcla. Se colocarán caños de  $\frac{3}{4}$ " y las mismas electroválvulas de utilizada para la otra parte del circuito hidráulico.

#### Selección de actuadores finales

Los últimos actuadores del proceso son los que se encargan de liberar los compuestos hasta el batch de mezcla, los cuales los denominamos electroválvulas de descarga en la imagen. Se colocarán caños de  $\frac{3}{4}$ " y las mismas electroválvulas de utilizada para la otra parte del circuito hidráulico.

### 4.3.2 Circuito de líquidos pesados

Realizando los cálculos en mathcad concluimos que lo mejor es usar cañerías de 1 y ¼". Las medidas de esta las obtenemos de la tabla 6 anteriormente utilizada. Las medidas son:

$$D_{ext} = 42,2[mm] \text{ (diámetro exterior)}$$

$$e = 3,56 [mm] \text{ (espesor)}$$

A diferencia del caso anterior, utilizamos dos modelos diferentes de bombas. Se utilizan bombas neumáticas para las emulsiones y el aditivo 3, pero para el agua consideramos que no es necesario este tipo de bombas y se puede utilizar una del tipo centrífuga (alimentación eléctrica). Comenzaremos con la selección y verificación de las primeras y luego calcularemos la bomba centrífuga.

#### Selección de bombas neumática

Seleccionamos el modelo PD15 del mismo fabricante que utilizamos para el caso anterior. Como el orificio de entrada es de 1 y ½", se debe utilizar un acople a 1 y ¼"

## Modelos no metálicos de 1-1/2 in

Las bombas de diafragma no metálicas de 1-1/2 in ARO® se usan a menudo para transferir, llenar, redistribuir y suministrar en los mercados de tratamiento de aguas residuales/agua, industriales y químicos. Nuestros modelos de 1-1/2 in alcanzan índices de caudal de hasta 123.1 GPM (465.9 LPM) y también ofrecen una variada selección de materiales y configuraciones de puertos.

|  |  |
|--|--|
| Relación:  | 1:1  |
| GPM máximo (LPM):                                  | 123 (465)  |
| Desplazamiento por ciclo en galones (litros):      | 0.617 (2.34)   |
| Entrada de aire (hembra):                          | 1/2 - 14 NPT   |
| Entrada/salida de fluido:                          | 1-1/2" ANSI/DIN hybrid flange (side or center)   |
| Presión máxima de funcionamiento en psi (bar):     | 120 (8.3)  |
| Diámetro máximo de sólidos suspendidos en in (mm): | 1/4 in (6.4)   |
| Peso en lb (kg):                                   | Polipropileno, Con puerto lateral 42.6 (19.3)<br>PVDF, Con puerto lateral 63.9 (29)<br>Polipropileno, con puerto central 42.3 (19.2)<br>PVDF, con puerto central 55.9 (25.3) |
| Elevación máxima por succión en seco en ft (m):    | 14 (4.2)   |
| Nivel de sonido:                                   | 70 PSI 60 ciclos/min 81.0 db(A)  |
| Silenciador incluido:                              | 93139  |



*Imagen 35 - Modelo de bomba a diafragma 1 y 1/2" de ARO*

### Verificación de la bomba neumática y diámetro de cañería elegido

Las cañerías más solicitadas son las de las emulsiones, debido a su alta viscosidad, la cual la suponemos el doble que el caso anterior, adoptando un valor de viscosidad cinemática aproximada de  $40 \left[ \frac{mm^2}{s} \right]$  y el largo de la cañería de 30 metros.

- Datos iniciales

$$v_2 = 4 \times 10^{-6} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \text{ (viscosidad cinemática de la emulsión)}$$

$$L_2 = 40 \text{ [m]} \text{ (largo de la cañería)}$$

$$D_2 = D_{ext} - 2 * e = 35.08 \text{ [mm]} \text{ (diámetro interior de cañería)}$$

- Perdidas por accesorios

Obtenemos las pérdidas equivalentes por accesorios de cañerías:

| Accesorio            | Perdida | Cantidad | Total |
|----------------------|---------|----------|-------|
| Codo normal 1 y ¼"   | 1 m     | 7        | 7 m   |
| Llave de paso 1 y ¼" | 0,2 m   | 1        | 0,2 m |
| TOTAL                |         |          | 7,2 m |

Tabla 8 - Calculo de perdida por accesorio 2

$$\Delta L_2 = 7,2 [m]$$

- Cálculo de las pérdidas totales

$$k_2 = k_1 = 0,05 [mm]$$

$$r = \frac{k_2}{D_2} = 0.00143 \text{ (coeficiente de rugosidad relativa)}$$

$$Q_2 = 184 \left[ \frac{L}{min} \right] \text{ (caudal de la bomba según la imagen 35)}$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{\frac{\pi * D_2^2}{4}} = 3,173 \left[ \frac{m}{s} \right] \text{ (velocidad del fluido)}$$

$$N_{re1} = \frac{V_1 * Q_1}{v_1} = 2,73 \times 10^4 \text{ (número de Reynolds para este fluido)}$$

Obteniendo el coeficiente rugosidad absoluta en el diagrama de Moody en la imagen 30:

$$\lambda_2 = 0,035$$

Calculamos la altura equivalente por pérdidas de cañería con la siguiente formula:

$$H_{r2} = \frac{\lambda_2 * (L_2 + \Delta L_2) * V_2^2}{2 * g * D_2} = 24,49 [m]$$

Sumando la altura estática:

$$H_{T1} = H_{r2} + H_{est2} = 28,49 [m]$$

Podemos ver que verifica ya que la bomba tiene una presión de descarga de 8,3 [bar] lo que equivale a más de 88[m] de altura de presión.

### Cálculo de la bomba centrífuga

- Datos iniciales

$$v_3 = 0,897 \times 10^{-6} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \text{ (viscosidad cinemática del agua a } 20^\circ\text{C)}$$

$$L_3 = 40 \text{ [m]} \text{ (largo de la cañería de agua)}$$

$$D_3 = D_2 = 35.08 \text{ [mm]} \text{ (diámetro interior de cañería)}$$

$$\Delta L_3 = \Delta L_2 = 7,2 \text{ [m]} \text{ (perdida equivalente de accesorios)}$$

- Cálculo de las pérdidas totales

$$k_3 = k_2 = 0,05 \text{ [mm]}$$

$$r = 0.00143 \text{ (coeficiente de rugosidad relativa)}$$

$$Q_3 = 200 \left[ \frac{L}{min} \right] \text{ (caudal estimado de bomba centrífuga)}$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{\frac{\pi * D_3^2}{4}} = 4,21 \left[ \frac{m}{s} \right] \text{ (velocidad del fluido)}$$

$$N_{re1} = \frac{V_3 * Q_3}{v_3} = 1,5 \times 10^5 \text{ (número de Reynolds para este fluido)}$$

Obteniendo el coeficiente rugosidad absoluta en el diagrama de Moody (Imagen 30).

$$\lambda_3 = 0,024$$

Calculamos la altura equivalente por pérdidas de cañería con la siguiente formula:

$$H_{r3} = \frac{\lambda_3 * (L_3 + \Delta L_3) * V_3^2}{2 * g * D_3} = 32,24 \text{ [m]}$$

Sumando la altura estática:

$$H_{T3} = H_{r3} + H_{est3} = 36,24 [m]$$

Cálculo de la potencia necesaria de la bomba

$n = 0,7$  (rendimiento global de una bomba de agua)

$\rho = 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$  (densidad del agua)

Potencia del sistema:

$$N_a = \frac{\rho * Q_3 * H_{T3} * g}{n} = 1,7 [kW]$$

Si miramos la siguiente tabla 9 del fabricante *Czerweny*, podríamos elegir una bomba de 3,5 [HP] (2,6 [KW]) sin embargo no sería capaz de suministrar el caudal de 200 [L] para la altura total necesaria (36,24 [m]), por lo tanto, debemos elegir una bomba de 7,5 [Hp] para obtener ese caudal.

| Modelo         | HP   | Lts./min<br>m <sup>3</sup> /h | Q-Caudal  |             |           |             |           |           |           |           |           |           |           |  |
|----------------|------|-------------------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
|                |      |                               | 200<br>12 | 230<br>13,8 | 250<br>15 | 280<br>16,8 | 300<br>18 | 400<br>24 | 500<br>30 | 600<br>36 | 700<br>42 | 800<br>48 | 900<br>54 |  |
| EB-65-50-125-1 | 3,50 | H                             | 22,3      | 21,9        | 21,7      | 21,4        | 21,2      | 21,0      | 18,0      | 14,0      | 9,5       |           |           |  |
| EB-65-50-125-2 | 3,50 |                               | 20,4      | 20,2        | 20,1      | 19,8        | 19,6      | 17,0      | 14,0      | 10,5      | 6,5       |           |           |  |
| EB-65-50-125-3 | 1,50 |                               | 15,6      | 15,4        | 15,2      | 15,0        | 14,9      | 12,8      |           |           |           |           |           |  |
| EB-65-50-125-4 | 1,50 |                               | 13,0      | 12,8        | 12,5      | 12,2        | 11,8      | 9,7       | 6,5       |           |           |           |           |  |
| EB-65-50-160-1 | 5,50 |                               | 32,5      | 32,5        | 32,5      | 32,5        | 32,5      | 32,0      | 32,1      | 28,0      |           |           |           |  |
| EB-65-50-160-2 | 5,50 |                               | 31,1      | 31,1        | 31,0      | 30,6        | 30,4      | 29,5      | 27,6      | 26,0      | 23,0      |           |           |  |
| EB-65-50-160-3 | 5,50 |                               | 26,5      | 26,5        | 26,5      | 26,5        | 26,4      | 25,5      | 23,5      | 21,5      | 18,5      | 14,5      | 8,5       |  |
| EB-65-40-200-1 | 7,50 |                               | 46,5      | 46,2        | 46,0      | 45,3        | 45,1      | 43,0      |           |           |           |           |           |  |
| EB-65-40-200-2 | 7,50 |                               | 39,2      | 38,5        | 38,0      | 37,8        | 37,5      | 37,5      | 32,7      | 30,0      |           |           |           |  |
| EB-65-40-200-3 | 7,50 |                               | 35,0      | 35,0        | 35,0      | 35,0        | 35,0      | 34,0      | 32,0      | 29,5      | 26,0      | 22,0      |           |  |
| EB-65-40-200-4 | 7,50 |                               | 30,4      | 30,4        | 30,4      | 30,4        | 30,4      | 28,5      | 27,0      | 23,2      | 19,2      | 13,5      | 7,5       |  |

Tabla 9 - Tabla caudal y altura bomba *Czerweny*

Seleccionamos el modelo EB-65-40-200-1 de *Czerweny*.



Imagen 36 - Bomba centrífuga Czerweny

El accionamiento de esta bomba es mediante un tablero de arranque, el cual contiene contactor, guardamotor y otras protecciones que se detallan más adelante. El equipo PLC es el encargado de accionar el contactor de alimentación de la bomba.

### Selección de electroválvulas

Para el circuito neumático que acciona las bombas se utiliza el modelo 321K3606-482606C2 de 2/2 (2 vías/ 2 posiciones) Normal Cerradas (NC) de del fabricante Parker. Este modelo tiene diámetro de orificio de 18 [mm] y accionamiento 24 [V].



#### Especificaciones técnicas

|                                 |  |  |   |
|---------------------------------|--|--|---|
| Material del cuerpo:            | Brass  | Número de puertos:                           | 2   |
| Serie del producto:             | General Purpose Solenoid Valves  | Tipo de accionamiento:                       | Pilot Operated  |
| Tensión (V):                    | 24VDC  | Medio:                                       | Air, Oil  |
| Tipo de válvula:                | 2-Way  | Tamaño del orificio 1 (mm):                  | 18  |
| Función:                        | Normally Closed (NC)   | Tipo de puerto:                              | BSP   |
| Energía (Wattios):              | 2.5  | Tamaño del orificio 2:                       | n/a   |
| Tamaño del puerto:              | 3/4 inch   | Coefficiente del caudal 2:                   | n/a   |
| Voltaje de entrada:             | 24.0 VDC   | Temperatura mínima del fluido:               | 0 °C  |
| Material del cuerpo:            | Brass  | Temperatura máxima del fluido:               | 65 °C   |
| Material de la junta:           | FKM  | Cumplimiento con especificaciones de bobina: | IP65  |
| Tamaño del orificio 1:          | 18 mm  | Tipo de bobina:                              | Explosion proof encapsulated electrical part 'mb', low power, 32 mm |
| Coefficiente del caudal 1:      | 6 m <sup>3</sup> /hour, 100 L/min  | Factor de caudal 1 (l/min):                  | 100   |
| Consumo de energía:             | 2.5 W  | Material de la junta:                        | FKM   |
| Tipo de bobina:                 | Explosion proof encapsulated electrical part 'mb', low power, 32 mm, Explosion Proof encapsulated electrical part 'mb', low power, 32 mm |  |   |
| Diferencia de presiones máxima: | 7 bar  |  |   |
| Diferencia de presiones mínima: | 0.3 bar  |  |   |

Imagen 37 - Electroválvula Parker 24V modelo 482606C2

Para el circuito hidráulico se selecciona el modelo 550032DIS de tamaño de orificio 35mm y 24V de accionamiento.



#### Especificaciones técnicas

|                                 |                                      |  |                                     |
|---------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------------|
| Serie del producto:             | General Purpose Solenoid Valves      | Diferencia de presiones mínima:              | 0.1 bar                             |
| Tensión (V):                    | 24VDC                                | Número de puertos:                           | 2                                   |
| Tipo de válvula:                | 2-Way                                | Tipo de accionamiento:                       | Pilot Operated                      |
| Función:                        | Normally Closed (NC)                 | Tipo de bobina:                              | Coil for DIN plug connection, 32 mm |
| Tamaño del puerto:              | 1-1/4 inch                           | Medio:                                       | Oil                                 |
| Voltaje de entrada:             | 24.0 VDC                             | Tipo de puerto:                              | BSP                                 |
| Material del cuerpo:            | Brass                                | Tamaño del orificio 2:                       | n/a                                 |
| Material de la junta:           | NBR                                  | Coefficiente del caudal 2:                   | n/a                                 |
| Tamaño del orificio 1:          | 35 mm                                | Temperatura mínima del fluido:               | -10 °C                              |
| Coefficiente del caudal 1:      | 25.2 m <sup>3</sup> /hour, 420 L/min | Temperatura máxima del fluido:               | 90 °C                               |
| Consumo de energía:             | 9 W                                  | Cumplimiento con especificaciones de bobina: | IP65                                |
| Energía (Wattios):              | 9                                    | Tamaño del orificio 1 (mm):                  | 35                                  |
| Tipo de bobina:                 | Coil for DIN plug connection, 32 mm  | Factor de caudal 1 (L/min):                  | 420                                 |
| Diferencia de presiones máxima: | 10 bar                               | Material de la junta:                        | NBR                                 |

*Imagen 38 - Electroválvula Parker 24 V modelo 550032DIS*

#### Selección de actuadores finales

Los últimos actuadores del proceso son los que se encargan de liberar los compuestos pesados hasta el batch de mezcla. Se colocarán caños de 1 y 1/4” y las mismas electroválvulas de utilizada para la otra parte del circuito hidráulico.

#### Selección de Celdas de carga

Para las tolvas L2 se tendrá que utilizar el modelo CVCC-1000 del fabricante “REACCION” de 500 [KG]. Si bien el proceso de producción actual no supera un pesaje máximo de 300 [KG], es importante tener un margen para el caso de modificaciones en las dosis.



Imagen 39 - Celda de carga de 500 KG

#### 4.3.4 Circuito de sólidos livianos

En este caso los depósitos se ubican arriba de la tolva de pesaje, por lo tanto, no es necesario de un equipo para impulsar los sólidos, ya que los mismos bajan por acción de la gravedad y de un sistema vibratorio colocado en la salida de los depósitos. Para esto se utiliza los depósitos tipo silo que detallamos en la selección de depósitos. Esquemáticamente nos quedaría de la manera que se representa en la imagen 40.

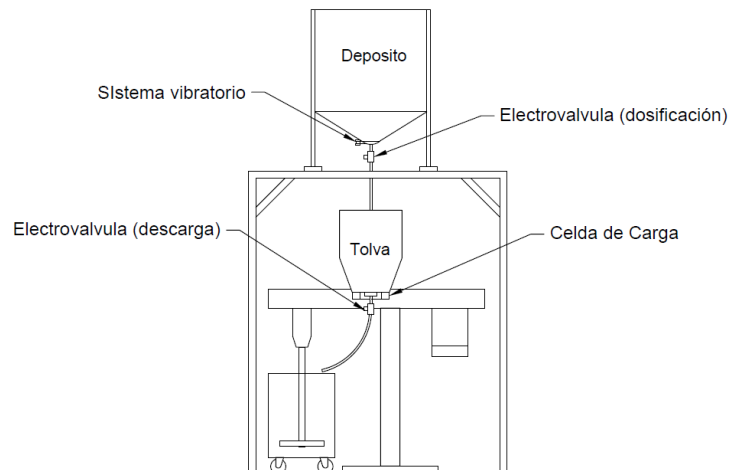


Imagen 40 – Vista lateral dosificación de sólidos livianos

Utilizaremos cañerías de 2” ya que se trata de compuestos sólidos y necesitamos asegurar que no se apelmacen. Directamente pasamos a la selección de las electroválvulas que generan la dosificación.

### Selección de electroválvulas

Para la electroválvula dosificadora se utiliza el modelo 444143W de 2/2 (2 vías/ 2 posiciones) Normal Cerradas (NC) de del fabricante Parker- Este modelo tiene diámetro de orificio de 50 [mm] y accionamiento 24 [V].



#### Especificaciones técnicas

|  |                      |                                  |  |
|--|----------------------|----------------------------------|--|
| Material de la junta:                        | NBR                  | Conexión eléctrica:              | 2 P + E Plug According to EN 175301-803 Type A |
| Cumplimiento con especificaciones de bobina: | Atex                 | Tipo de accionamiento:           | Normally Closed (NC)                           |
| Tamaño del orificio:                         | 50 mm                | Presión mínima de trabajo:       | 0.1 °C   |
| Voltaje de suministro eléctrico:             | 24V DC               | Material del asiento:            | Brass  |
| Función:                                     | Normally Closed      | Temperatura mínima del fluido:   | -10  |
| Temperatura máxima del fluido:               | +90°C                | Consumo de energía de la bobina: | 9 W  |
| Tamaño del puerto:                           | G 2"                 | Tipo de válvula:                 | 2/2-Way  |
| Cumplimiento con especificaciones:           | -                    | Clase de aislamiento:            | F (155°C)                                      |
| Presión de trabajo máxima:                   | 10 bar AC/DC         | Tipo de puerto:                  | Pipe Mounting                                  |
| Tamaño del orificio de escape:               | - L/min              | Coefficiente del caudal 1:       | 620 m3/hour                                    |
| Cumplimiento con especificaciones ATEX:      | Ex nAc nCo IIC T3/T4 | Material del cuerpo:             | Brass  |
| Medio:                                       | Water, Oil, Steam    | Coil Temperature Range:          | -40 to 50 °C                                   |
|  |                      | Coefficiente del caudal 2:       | 37.2   |

*Imagen 41 - Electroválvula Parker 24V modelo 444143W*

### Selección de actuadores finales

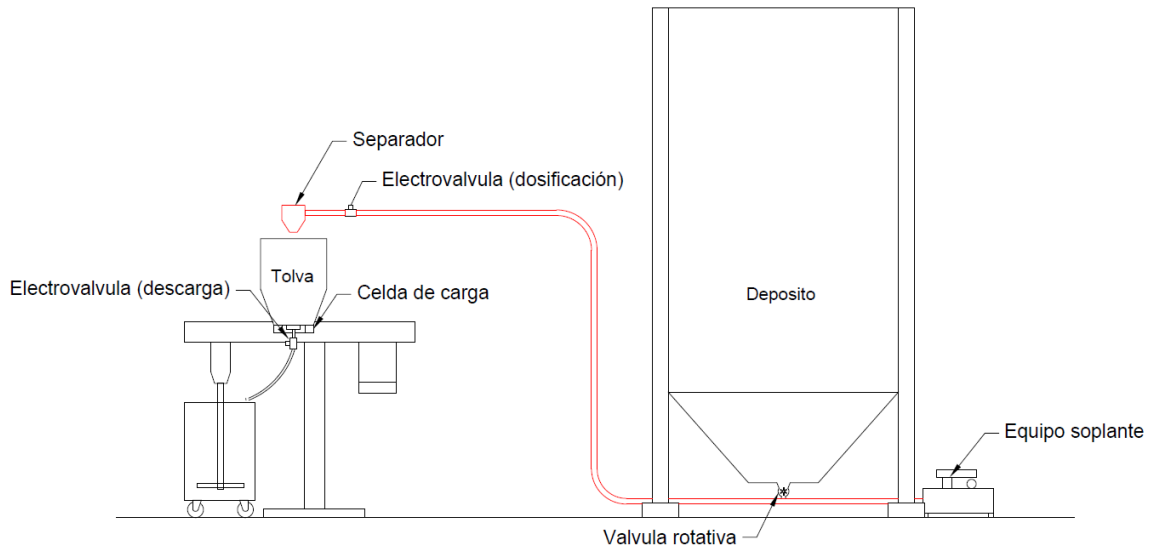
Para el circuito de descarga se utiliza el mismo modelo detallado anteriormente ya que se trata del mismo diámetro de cañería.

### Selección de Celdas de carga

Para las tolvas S1 se tendrá que utilizar el modelo QSF-A de 10 [KG], misma celda que se utiliza en la tolva de líquido liviano L1.

#### 4.3.4 Circuito de sólidos pesados

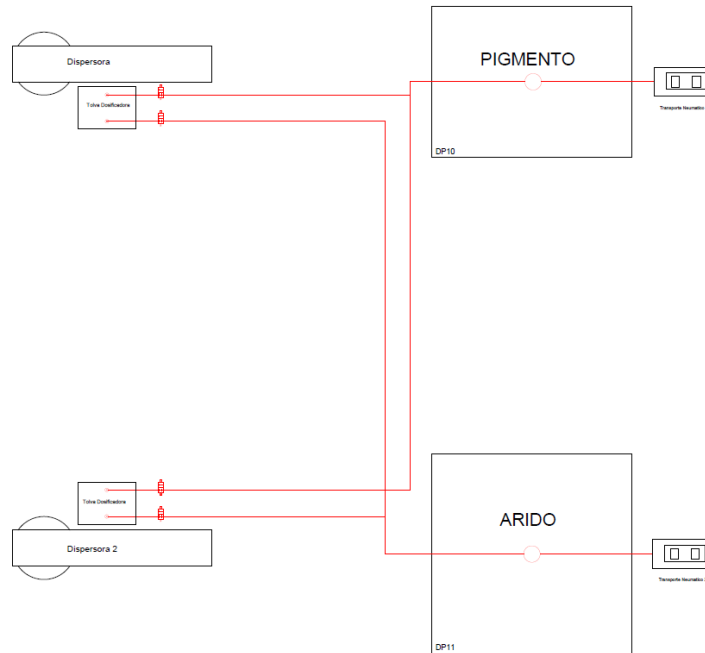
Para la dosificación de estos dos sólidos, el compuesto árido y el pigmento se utilizará un sistema con transporte neumático, cuyo esquema se muestra a continuación:



*Imagen 42 – Vista lateral transporte solidos pesados*

El sistema de transporte neumático cuenta con un equipo soplante, el cual es un compresor accionado por un motor eléctrico. Este sistema detallado transporta el material en fase fluida, es decir, el sólido se mezcla con una corriente de aire y se traslada esta mezcla a través de las cañerías. En el final de la cañería se cuenta con un equipo que separador, el cual se encarga que el sólido se deposite en la tolva y el aire limpio se libere a la atmosfera.

Se cuenta con un equipo soplante por cada dos dispersoras. Esto se logra gracias al accionamiento de las válvulas dosificadoras de manera no simultánea.



*Imagen 43 - Layout de transporte solidos pesados*

Para el cálculo se tomará en cuenta el tramo de cañería más extenso, ya que no se utilizarán las dos cañerías hacia las dos dispensoras en simultaneo.

### Circuito de Árido

Como primer paso tenemos que conocer los datos físicos del material. Los siguientes datos nos lo envía el proveedor de los compuestos sólidos, *Amichem SA*.

## ESPECIFICACIONES:

|                                  |                        |               |
|----------------------------------|------------------------|---------------|
| Humedad:                         | Máx. 0.10 %            | ISO 787/2     |
| Absorción de aceite:             | 18 - 18 g/100 g        | ISO 787/5     |
| Absorción de DOP:                | 28 - 28 g/100 g        | ISO 787/5     |
| Densidad Aparente sin compactar: | 0,96 g/cm <sup>3</sup> | ISO 787/11    |
| Densidad Aparente compactada:    | 1,18 g/cm <sup>3</sup> | ISO 787/11    |
| Índice de Blancura:              | Min. 87.00 %           | Photovolt 577 |

## GRANULOMETRICOS:

|                                |             |                |
|--------------------------------|-------------|----------------|
| Retenido en malla 400 (38 µm): | Máx. 1.50 % | ISO 787/7      |
| Tamaño medio de partículas:    | 8.50 µm     | Sedigraph 5100 |

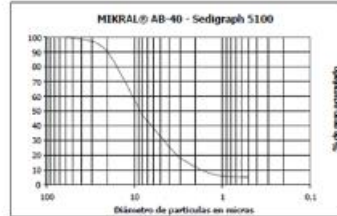


Imagen 44 - Datasheet del árido

Los datos más importantes para el cálculo son:

$$\rho_{arido} = 960 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \text{ (densidad según datasheet)}$$

$$D_{p1} = 8.5 [\mu m] \text{ (tamaño promedio de partícula según datasheet)}$$

El procedimiento de cálculo y los datos necesarios los obtenemos del apunte de la catedra Manejo de Materiales [4]. En la siguiente tabla se indican valores recomendados de densidad de mezcla y velocidad para diferentes materiales.

| Material   | Densidad aparente promedio durante el transporte [Kg/m <sup>3</sup> ] | Tamaño del grano          |                     |          | Velocidad mínima admisible del aire en la tubería transportadora [m/seg.] |            | Máximo valor admisible de $\gamma$ Kg de polvo/ m <sup>3</sup> aire |            |
|--|---|---------------------------|---------------------|----------|---|------------|---|------------|
|  |   |                           |                     |          | vertical  | horizontal | vertical  | horizontal |
| Material en terrones y gránulos gruesos          |   |                           |                     |          |   |            |   |            |
| Carbón   | 720   | mas de 12,7 mm            |                     |          | 12  | 15         | 16  | 12         |
| Carbón   | 720   | mas de 6,3 mm             |                     |          | 9   | 12         | 24  | 16         |
| Trigo  | 750   | 4,7 mm                    |                     |          | 9   | 12         | 32  | 24         |
| Cubos de polieteno                               | 480   | mas de 3,2 mm             |                     |          | 9   | 12         | 32  | 24         |
| Polvos fluidizables                              |   |                           |                     |          |   |            |   |            |
| Porcentajes que pasa los tamices abajo señalados |   |                           |                     |          |   |            |   |            |
|  |   | Porcentaje                | Malla (mm de ancho) | B.S.Mesh |   |            |   |            |
| Cemento  | 1050 - 1440   | 95                        | 0,089               | 170      | 1,5   | 7,5        | 960   | 160        |
| Harina   | 560   | 64                        | 0,152               | 100      | 1,5   | 4,5        | 240   | 80         |
| Carbón pulverizado                               | 720   | 100 % pasa malla de 0,425 | 75 % pasa 0,076     | 200      | 1,5   | 4,5        | 320   | 112        |
| Ceniza pulverizada                               | 720   | 90                        | 0,152               | 100      | 1,5   | 4,5        | 480   | 160        |
| Tierra de bastan                                 | 560 - 880   | 95                        | 0,104               | 150      | 1,5   | 6          | 240   | 80         |
| Bentonita  | 770 - 1050  | 95                        | 0,076               | 200      | 1,5   | 7,5        | 480   | 64         |
| Barita   | 1340 - 2160   | 99                        | 0,066               | 240      | 4,5   | 7,5        | 480   | 160        |
| Sílice   | 800 - 960   | 95                        | 0,104               | 150      | 1,5   | 6          | 320   | 80         |
| Fluorita   | 1760  | 50                        | 0,076               | 200      | 3   | 9          | 640   | 160        |
| Fosfato mineral                                  | 1280  | 90                        | 0,152               | 100      | 3   | 9          | 320   | 112        |
| Tripolifosfato                                   | 1050  | 95                        | 0,178               | 85       | 1,5   | 7,5        | 480   | 80         |
| Sal común  | 1360  | 5                         | 0,152               | 100      | 3   | 9          | 240   | 80         |
| Ceniza sódica (liviana)                          | 560   | 66                        | 0,104               | 150      | 3   | 9          | 240   | 80         |
| Ceniza sódica (densa)                            | 1050  | 50                        | 0,178               | 85       | 3   | 12         | 160   | 48         |
| Sulfato de sodio                                 | 1280 - 1440   | 100 % pasa malla de 0,5   | 55 % pasa 0,104     | 150      | 3   | 12         | 240   | 80         |
| Perborato de sodio                               | 865   | 100 % pasa malla de 0,5   | 43 % pasa 0,178     | 85       | 3   | 9          | 160   | 48         |
| Bauxita molida                                   | 1440  | 100                       | 0,104               | 150      | 1,5   | 7,5        | 640   | 128        |
| Alúmina  | 930   | 100                       | 0,104               | 150      | 1,5   | 7,5        | 480   | 96         |
| Kieselguhr                                       | 240   | 85                        | 0,076               | 200      | 1,5   | 7,5        | 160   | 32         |
| Magnesita  | 1600  | 90                        | 0,076               | 200      | 3   | 9          | 480   | 160        |
| Dióxido de uranio                                | 3500  | 100 % pasa malla de 0,5   | 50 % pasa 0,076     | 200      | 6   | 18         | 960   | 160        |

Tabla 10 - Velocidad y densidad de mezcla recomendados [4]

El árido que utilizamos en el proceso no se encuentra en la tabla, por lo tanto, elegimos las propiedades del material más similar, en este caso la sílice. Para la densidad de mezcla utilizamos un valor menor al recomendado para la sílice, mientras que para la velocidad de transporte utilizamos un valor superior al recomendado para asegurarnos el transporte.

$$\gamma_{t1} = 50 \left[ \frac{KG}{m^3} \right]$$

$$v_{t1} = 15 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

EL caudal másico se determina en función de la cantidad que queremos dosificar, la cual es 300 [KG] en 1 minuto.

$$Q_{m1} = 300 \left[ \frac{KG}{min} \right] = 5 \left[ \frac{KG}{s} \right]$$

Cantidad de aire a transportar:

$$Q_{v1} = \frac{Q_{m1}}{\gamma_{t1}} = 0,1 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Diámetro aproximado de la cañería:

$$D_{ap} = \sqrt{\frac{4 * Q_{v1}}{\pi * v_{t1}}} = 92.132 [mm]$$

Utilizamos cañería de 4" cuyas medidas son:

$$D_{ext1} = 114,3 [mm] \text{ (diámetro exterior)}$$

$$e_1 = 6,02 [mm] \text{ (espesor)}$$

$$D_1 = D_{ext} - 2 * e = 102,26 [mm]$$

### Dimensionamiento del separador

Probaremos con utilizar un separador ciclónico, según se muestra en la imagen 45. Lo dimensionaremos y verificaremos mediante su velocidad de entrada y el tamaño mínimo de partícula que puede separar.

## Diseño de ciclones convencionales (Traducción)

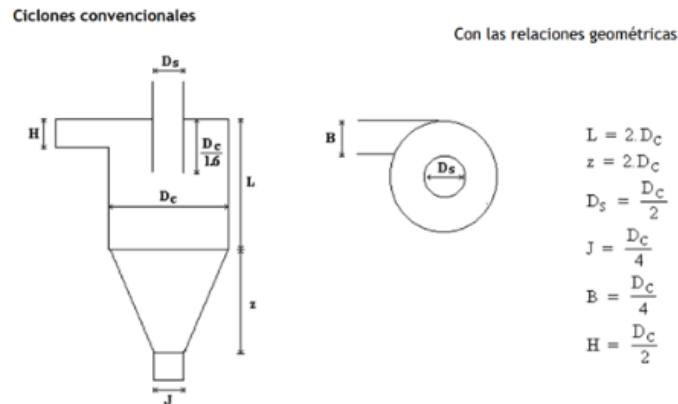


Imagen 45 - Esquema medidas de ciclón [4]

Planteamos como medida inicial un ancho de boquilla de  $B_1 = 45 [mm]$ .

$$D_{C1} = 4 * B_1 = 180 [mm]$$

$$H_1 = \frac{D_{C1}}{2} = 90 [mm]$$

$$L_1 = Z_1 = 2 * D_{C1} = 360 [mm]$$

$$D_{s1} = H_1 = 90 [mm]$$

$$J_1 = \frac{D_{C1}}{4} = 45 [mm]$$

Para verificar la velocidad de entrada tiene que ser entre 15 y 27 [m/s].

$$v_{i1} = \frac{Q_{v1}}{B_1 * H_1} = 24,691 \left[ \frac{m}{s} \right] \text{ (verifica)}$$

Calculamos el número de vueltas de la corriente de aire en el ciclón:

$$N_1 = \frac{1}{H_1} \left( L_1 + \frac{Z_1}{2} \right) = 6$$

Ahora verificamos el diámetro de partícula crítico, es decir el diámetro de partícula mínimo que el ciclón se asegura poder separar. Tomamos el siguiente valor de viscosidad dinámica del aire:

$$\mu_{aire} = 1.96 * 10^{-5} \left[ \frac{KG}{m*s} \right]$$

Según el apunte de cátedra el diámetro mínimo se obtiene como:

$$D_{critico} = \sqrt{\frac{9 * \mu * B_1}{\pi * N_1 * \rho_{arido} * v_{i1}}} = 4.215 \mu m$$

Como el árido tiene un tamaño de partícula promedio de  $8.5 \mu m$  deducimos que el ciclón funcionará correctamente sin la necesidad de agregar filtros de partículas.

#### Perdida de carga en el ciclón

$K = 16$  (factor de entrada tangencial en un ciclón)

$$\rho_{aire} = 1,2 \left[ \frac{KG}{m^3} \right] \text{ (densidad del aire)}$$

La pérdida del ciclón se calcula como:

$$H_{s1} = \frac{1}{2} * \rho_{aire} * v_{i1}^2 * K * \frac{H_1 * B_1}{D_{s1}^2} = 2,92 * 10^3 [Pa] = 0,03 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$$

#### Perdida de carga para introducir el material en la corriente de aire

$F_1 = 3$  (coeficiente que se toma entre 2 o 3 según ensayo)

$$H_{p1} = \frac{F_1 * v_{t1}^2}{2 * g} * \gamma_{t1} = 0,172 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$$

#### Perdida de carga primaria

$\lambda_1 = 0,02$  (entre 0,016 y 0,02)

$l_{x1} = 16[m]$  (distancia horizontal desde deposito del árido hasta dispersora mas alejada)

$l_{v1} = 4 [m]$  (distancia vertical)

$$H_{p2} = \frac{\lambda_1 * (l_{x1} + l_{v1}) * v_{t1}^2}{D_1 * 2 * g} * \gamma_{t1} = 0,224 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$$

Perdida en curvas  $l_v$

$$r_1 = \frac{500[mm]}{D_1} = 4,907 \text{ (relación entre radio de curvatura y diámetro de cañería)}$$

$n_1 = 4$  (numero de curvas)

$$F_3 = 0,75$$

Para este valor de  $F_3$  se obtiene de la siguiente tabla:

| Relación<br>Radio de curvatura/ $\Phi$ tubería | F3   |
|--|------|
| 2  | 1,5  |
| 4  | 0,75 |
| 6 o más  | 0,5  |

*Tabla 11 - Relación radio de curvatura [4]*

Elegimos un radio de curvatura grande para evitar tener mayores pérdidas de carga, además que favorece la fluides del material dentro de la cañería.

$$H_{p3} = \frac{F_3 * n_1 * v_{t1}^2}{2 * g} * \gamma_{t1} = 0,172 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$$

Perdida de carga por elevación

$h_1 = 4[m]$  distancia de elevación de material

$$H_{p4} = h_1 * \gamma_{t1} = 0,02 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$$

### Perdida de carga total

Sumamos todas las pérdidas de carga del sistema:

$$H_{t1} = H_{s1} + H_{p1} + H_{p2} + H_{p3} + H_{p4} = 0,618 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$$

### Cálculo de la potencia necesaria para el sistema

$\eta_m = 0,65$  (factor global de rendimiento motor-compresor)

$$P_s = \frac{Q_{v1} * H_{t1} * g}{\eta_m} = 9,329 [KW]$$

Se elije un motor de 11 [KW] del fabricante WEG modelo IE3 de 1500 [rpm] y 380/660 [V]:



Con carcasa de aluminio y patas removibles, este motor es capaz de suministrar gran flexibilidad y facilidad en el cambio de configuración, sin necesidad de mecanizado o modificaciones adicionales. Su caja de conexión puede ser rotada de 90 en 90 grados, permitiendo la conexión de los cables del motor en cualquier lado. Además de eso, estos motores son totalmente intercambiables con los motores de hierro fundido.

#### Resumen de las características técnicas

|                     |                            |                               |              |
|---------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------|
| Norma               | IEC 60034-1                | Potencia                      | 11 kW        |
| Frecuencia          | 50 Hz                      | Fijación                      | Con pies     |
| Tensión             | 380-400-415/660-690//460 V | Brida                         | Sin          |
| Numero de polos     | 4                          | Forma constructiva            | B3T          |
| Grado de protección | IP55                       | Caja de conexión <sup>1</sup> | Superior     |
| Rotación sincrona   | 1500 rpm                   | Refrigeración                 | IC411 - TEFC |

Imagen 46 - Motor eléctrico 11 KW WEG

Selección del equipo impulsor

Como tenemos que vencer una presión de  $0,619 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$  necesitamos un compresor tipo roots, ya que los centrífugos no pueden aportar este valor. Y recordando que necesitamos un caudal de:

$$Q_{v1} = 0,1 \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 360 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Buscamos en la tabla de selección de sopladores del fabricante Dosivac:

**TABLA DE SELECCIÓN DE SOPLADORES TRABAJANDO POR PRESIÓN**

Los valores indicados corresponden a presión atmosférica normal P: 1013 mbar y temperatura de admisión de aire T: 20 °C con una tolerancia de +/- 5%

| MOD    | RPM  | 100(mbar) |        | 200(mbar) |        | 300(mbar) |        | 400(mbar) |        | 500(mbar) |        | 600(mbar) |        | 700(mbar) |        | 800(mbar) |        |
|--------|------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
|        |      | Qs (m³/h) | P (HP) | Qs (m³/h) | P (HP) | Qs (m³/h) | P (HP) | Qs (m³/h) | P (HP) | Qs (m³/h) | P (HP) | Qs (m³/h) | P (HP) | Qs (m³/h) | P (HP) | Qs (m³/h) | P (HP) |
| DS 60  | 1650 | 36        | 0.3    | 34        | 0.5    | 32        | 0.7    | 31        | 0.9    | 29        | 1.1    | 29        | 1.3    |           |        |           |        |
|        | 1800 | 41        | 0.3    | 38        | 0.5    | 37        | 0.8    | 35        | 1.0    | 34        | 1.2    | 33        | 1.4    |           |        |           |        |
|        | 1950 | 45        | 0.3    | 43        | 0.6    | 41        | 0.8    | 40        | 1.1    | 38        | 1.3    | 37        | 1.5    |           |        |           |        |
|        | 2100 | 50        | 0.3    | 47        | 0.6    | 46        | 0.9    | 44        | 1.2    | 43        | 1.4    | 42        | 1.6    |           |        |           |        |
|        | 2250 | 54        | 0.3    | 52        | 0.7    | 50        | 1.0    | 49        | 1.2    | 47        | 1.5    | 46        | 1.7    |           |        |           |        |
|        | 2400 | 58        | 0.4    | 56        | 0.7    | 55        | 1.0    | 53        | 1.3    | 52        | 1.6    | 51        | 1.8    |           |        |           |        |
|        | 2550 | 63        | 0.4    | 61        | 0.8    | 59        | 1.1    | 58        | 1.4    | 56        | 1.7    | 55        | 1.9    |           |        |           |        |
| DS 150 | 850  | 59        | 0.5    | 47        | 1.1    | 38        | 1.6    | 30        | 2.0    | 23        | 2.5    | 17        | 2.9    | 13        | 3.3    | 9         | 3.7    |
|        | 1000 | 79        | 0.6    | 67        | 1.3    | 58        | 1.8    | 49        | 2.4    | 42        | 2.9    | 37        | 3.4    | 32        | 3.9    | 28        | 4.3    |
|        | 1150 | 98        | 0.8    | 86        | 1.4    | 77        | 2.1    | 69        | 2.7    | 61        | 3.3    | 56        | 3.9    | 52        | 4.5    | 47        | 5.0    |
|        | 1300 | 117       | 0.8    | 106       | 1.6    | 97        | 2.4    | 88        | 3.1    | 80        | 3.8    | 75        | 4.4    | 71        | 5.0    | 67        | 5.6    |
|        | 1450 | 136       | 0.9    | 125       | 1.8    | 116       | 2.7    | 107       | 3.4    | 100       | 4.2    | 95        | 4.9    | 90        | 5.6    | 86        | 6.3    |
|        | 1600 | 156       | 1.0    | 144       | 2.0    | 135       | 2.9    | 127       | 3.8    | 119       | 4.6    | 114       | 5.4    | 109       | 6.2    | 106       | 6.9    |
|        | 1750 | 175       | 1.1    | 163       | 2.2    | 154       | 3.2    | 146       | 4.2    | 139       | 5.1    | 133       | 5.9    | 128       | 6.8    | 125       | 7.6    |
| DS 300 | 850  | 124       | 0.8    | 113       | 1.6    | 103       | 2.4    | 93        | 3.1    | 85        | 3.7    | 77        | 4.4    | 71        | 5.0    | 65        | 5.6    |
|        | 1000 | 155       | 1.0    | 145       | 1.9    | 133       | 2.8    | 124       | 3.6    | 116       | 4.4    | 109       | 5.1    | 103       | 5.9    | 96        | 6.5    |
|        | 1150 | 186       | 1.1    | 176       | 2.2    | 164       | 3.2    | 155       | 4.1    | 147       | 5.1    | 140       | 5.9    | 133       | 6.7    | 127       | 7.5    |
|        | 1300 | 217       | 1.3    | 207       | 2.5    | 196       | 3.6    | 186       | 4.7    | 178       | 5.7    | 170       | 6.7    | 164       | 7.6    | 158       | 8.5    |
|        | 1450 | 248       | 1.4    | 238       | 2.8    | 226       | 4.0    | 217       | 5.2    | 209       | 6.4    | 202       | 7.5    | 196       | 8.5    | 189       | 9.5    |
|        | 1600 | 279       | 1.6    | 269       | 3.1    | 257       | 4.5    | 248       | 5.8    | 240       | 7.0    | 233       | 8.2    | 226       | 9.4    | 220       | 10.5   |
|        | 1750 | 310       | 1.7    | 300       | 3.3    | 289       | 4.9    | 279       | 6.3    | 271       | 7.7    | 263       | 9.0    | 257       | 10.3   | 251       | 11.5   |
| DS 500 | 850  | 194       | 1.5    | 172       | 2.9    | 152       | 4.1    | 134       | 5.3    | 117       | 6.3    | 102       | 7.3    | 89        | 8.2    | 77        | 9.1    |
|        | 1000 | 248       | 1.8    | 226       | 3.4    | 206       | 4.9    | 188       | 6.2    | 171       | 7.5    | 156       | 8.6    | 143       | 9.7    | 131       | 10.7   |
|        | 1150 | 302       | 2.0    | 280       | 3.9    | 260       | 5.6    | 242       | 7.1    | 225       | 8.6    | 210       | 9.9    | 197       | 11.2   | 185       | 12.3   |
|        | 1300 | 356       | 2.3    | 334       | 4.4    | 314       | 6.3    | 296       | 8.1    | 279       | 9.7    | 264       | 11.2   | 251       | 12.6   | 239       | 13.9   |
|        | 1450 | 410       | 2.6    | 388       | 4.9    | 368       | 7.0    | 350       | 9.0    | 333       | 10.8   | 318       | 12.5   | 305       | 14.1   | 293       | 15.5   |
|        | 1600 | 464       | 2.8    | 464       | 5.4    | 422       | 7.8    | 404       | 9.9    | 387       | 11.9   | 372       | 13.8   | 359       | 15.5   | 347       | 17.1   |
|        | 1750 | 518       | 3.1    | 496       | 5.9    | 476       | 8.5    | 458       | 10.9   | 441       | 13.1   | 426       | 15.1   | 413       | 17.0   | 401       | 18.7   |

Tabla 12 - Tabla de selección de compresores Dosivac

El soplador que más se ajusta a nuestros requerimientos es el modelo DS 500.

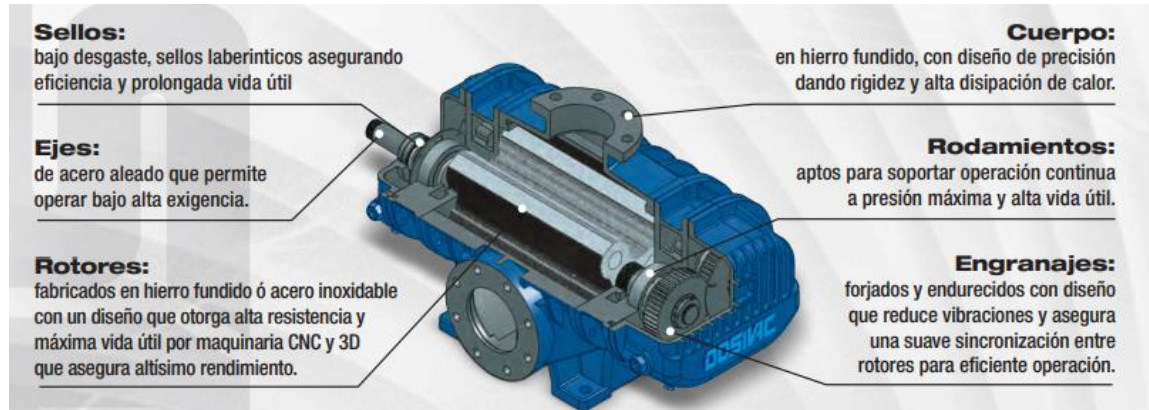


Imagen 47 - Soplador Roots marca Dosivac

Según la tabla el soplador a 1600 [rpm] y 0,6 [mbar] de presión entrega un caudal de  $372 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$ . Utilizando las leyes de los ventiladores predecimos el caudal a 1500 [rpm], el valor que entrega el motor eléctrico conectado directo al eje sin reducción.

$$Q_{real} = 372 \left[ \frac{m^3}{h} \right] * \frac{1500[rpm]}{1600[rpm]} = 349 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Es un valor cercano al que queríamos obtener ( $360 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$ ).

### Selección de electroválvulas

Se selecciona una electroválvula especial para poder dosificar la cantidad de sólido, la cual se ubicará entre el ciclón y la tolva de pesaje. Cuando se detecta que el pesaje es el adecuado, primero se detiene el soplador y luego se cierra la válvula. Utilizamos una válvula especial para manejo de solido tipo guillotina marca *Orbinox*.



*Imagen 48 - Electroválvula tipo guillotina marca Orbinox*

Se selecciona el modelo XC con Diámetro nominal de 100 [mm]. Se utilizará el mismo modelo para la electroválvula dosificadora como para la de descarga (ubicada entre la tolva y el batch).

### Selección de Celdas de carga

Para las tolvas S2 se utilizar el mismo modelo que para las tolvas L2 de líquidos pesados. Este modelo es el CVCC-1000 del fabricante *Reaccion* de 500 [KG].

Circuito de Pigmento

Partimos con los datos físicos del material también nos los brinda el proveedor de materia prima *Amichem SA*.

| TYPICAL PROPERTIES              |                               |             |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------|
| PARAMETER                       | VALUE                         | TEST METHOD |
| Crystal structure               | Rutile                        | XRD*        |
| ISO 591 classification          | R2                            | --          |
| Chemical abstracts number (CAS) | 13463-67-7                    | --          |
| pH                              | 6.5 - 8.0                     | ISO 787-9   |
| TiO <sub>2</sub> content        | 94.0 - 95.5%                  | ISO 591-1   |
| Density                         | 4.1g/cm <sup>3</sup>          | ISO 787-10  |
| Average particle size           | 0.23μm                        | SEM**       |
| Surface treatment               | Zirconia; Alumina;<br>organic | --          |

*Tabla 13 - Propiedades físicas pigmento*

Los datos más importantes para el cálculo son:

$$\rho_{arido} = 4100 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \text{ (densidad según datasheet)}$$

$$D_{p1} = 0,23 [\mu m] \text{ (tamaño promedio de partícula según datasheet)}$$

Este tipo de material no se encuentra en la tabla de valores recomendados de densidad de mezcla, por lo tanto, se lo compara con el dióxido de uranio, el cual es similar en propiedades físicas.

La tabla 10 nos indica valores de transporte horizontal y vertical, siendo este último el mayor. Elegimos el valor más desfavorable ( $160 \left[ \frac{KG}{m^3} \right]$ ). Utilizaremos una cuarta parte de este valor para reducir las pérdidas en cañerías, además el dióxido de titanio es más pesado que el dióxido de uranio.

$$\gamma_{t2} = 40 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

Para la velocidad de transporte se utiliza es:

$$v_{t2} = 16 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

EL caudal másico: utilizamos el mismo que en caso anterior:

$$Q_{m2} = Q_{m1} = 300 \left[ \frac{KG}{min} \right] = 5 \left[ \frac{KG}{s} \right]$$

Cantidad de aire a transportar:

$$Q_{v2} = \frac{Q_{m2}}{\gamma_{t2}} = 0,125 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Diámetro aproximado de la cañería:

$$D_{ap} = \sqrt{\frac{4 * Q_{v2}}{\pi * v_{t2}}} = 99,736 [mm]$$

Utilizamos cañería de 4" cuyas medidas son:

$$D_{ext1} = 114,3 [mm] \text{ (diámetro exterior)}$$

$$e_1 = 6,02 [mm] \text{ (espesor)}$$

$$D_2 = D_{ext} - 2 * e = 102,26[mm]$$

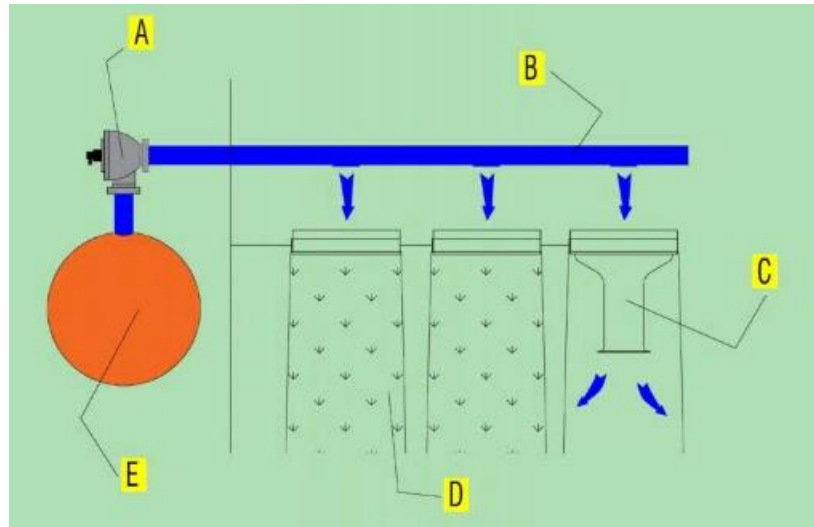
### Dimensionamiento del separador

A diferencia del caso anterior no podemos utilizar un separador ciclónico, esto se debe a que se trata de partículas muy finas, menos a 0,5 micrones, mientras que los separadores ciclónicos no suelen poder separar partículas menores a 1 micron, por lo tanto, hay que usar un filtro de mangas o de cartuchos.



*Imagen 49 - Filtros de mangas para transporte neumático*

Utilizaremos filtros marca *Prillwits* modelo HDFT, especialmente diseñados para transporte neumático. Estos filtros cuentan con un sistema de autolimpieza a contra presión según se esquematiza a continuación:



*Imagen 50 - Sistema de autolimpieza con aire a contrapresión*

Los elementos que contienen este sistema son:

- a) Válvula a diafragma
- b) Caño soplador
- c) Venturi
- d) Manga o cartucho filtrante
- e) pulmón de aire comprimido

Dentro del cuerpo principal se encuentran montadas las mangas o los cartuchos de forma vertical. El aire cargado de polvo fluye desde el exterior de estos pasando a través de la tela filtrante. El aire limpio sube por el interior de la manga hasta el exterior. Una electroválvula solenoide es accionada en pulsos de presión y alto caudal de aproximadamente 0,2 segundos. Estos ciclos de disparos se programarán con el PLC de manera de ser ininterrumpidos.



*Imagen 51 - Electroválvula para limpieza*

Todo este sistema viene incluido con la compra del filtro, por lo tanto, nuestro trabajo es seleccionar el correcto. Para la selección del filtro se debe calcular el área filtrada. El fabricante propone la siguiente formula:

$$A = \frac{Q_{aire}}{i}$$

Donde el termino de arriba es el caudal de aire calculado anteriormente y el denominador  $i$  toma valores desde 0 a 2,5 para materiales muy finos. Utilizando un valor de  $i$  igual al diámetro de partícula promedio tenemos:

$$A = \frac{7,5[\frac{m^3}{min}]}{0,23} = 32,6 [m^2]$$

El modelo necesario de filtro se muestra en la siguiente imagen:

### HDFA

Los filtros HDFA están pensados para lograr una optima separación de polvo ya que agregan el efecto de separación ciclónica. Electroválvula de 1½" G.

The filters HDFA are designed to achieve the maximum separation of powder with the added effect of cyclonic separation. Electro valve: 1½" G

| MODELO | LARGO MANGAS (mm) | SUP. FILT. (m2) |        | A    | B   | C    | Ø D  | F   | G         | H         | -K    |
|--------|-------------------|-----------------|--------|------|-----|------|------|-----|-----------|-----------|-------|
|        |                   | Cartuchos       | Mangas |      |     |      |      |     |           |           |       |
| HDF 9  | 1200              | 14.4            | 4.4    | 1260 | 425 | 655  | 840  | 250 | 230 X 460 | 120 X 120 | Ø 300 |
|        | 1800              | 21.5            | 6.5    | 1860 |     |      |      |     |           |           |       |
| HDF 12 | 1200              | 19.2            | 5.8    | 1260 | 425 | 655  | 840  | 250 | 230 X 460 | 120 X 120 | Ø 300 |
|        | 1800              | 28.7            | 8.6    | 1860 |     |      |      |     |           |           |       |
|        | 2400              | 38.3            | 11.5   | 2460 |     |      |      |     |           |           |       |
|        | 2700              | 43.1            | 12.9   | 2760 |     |      |      |     |           |           |       |
| HDF 16 | 1200              | 25.5            | 7.7    | 1260 | 492 | 830  | 1040 | 300 | 330 X 660 | 200 X 200 | Ø 350 |
|        | 1800              | 38.3            | 11.5   | 1860 |     |      |      |     |           |           |       |
|        | 2400              | 51.1            | 15.3   | 2460 |     |      |      |     |           |           |       |
|        | 2700              | 57.5            | 17.2   | 2760 |     |      |      |     |           |           |       |
| HDF 26 | 1200              | 41.5            | 12.6   | 1260 | 562 | 1020 | 1260 | 310 | 370 X 740 | 200 X 200 | Ø 400 |
|        | 1800              | 62.2            | 18.7   | 1860 |     |      |      |     |           |           |       |
|        | 2400              | 83.0            | 24.8   | 2460 |     |      |      |     |           |           |       |
|        | 2700              | 93.4            | 27.9   | 2760 |     |      |      |     |           |           |       |

Imagen 52 - Filtros HDFA

Se utiliza el modelo HDF 12 de 2400 [mm] de largo con cartucho.

Perdida de carga para introducir el material en la corriente de aire

$$H_{p1} = \frac{F_1 * v_{t2}^2}{2 * g} * \gamma_{t2} = 0,157 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$$

Perdida de carga primaria

$$\lambda_1 = 0,02 \text{ (entre 0,016 y 0,02)}$$

$$l_{x2} = 16[m] \text{ (distancia horizontal desde deposito del árido hasta dispersora mas alejada)}$$

$$l_{v1} = 4 [m] \text{ (distancia vertical)}$$

$$H_{p2} = \frac{\lambda_1 * (l_{x2} + l_{v2}) * v_{t2}^2}{D_2 * 2 * g} * \gamma_{t2} = 0,204 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$$

Perdida en curvas

$$r_2 = \frac{500[mm]}{D_2} = 4,889 \text{ (relación entre radio de curvatura y diámetro de cañería)}$$

$n_2 = 4$  (numero de curvas)

$F_3 = 0,75$  (según tabla)

$$H_{p3} = \frac{F_3 * n_2 * v_{t2}^2}{2 * g} * \gamma_{t2} = 0,157 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$$

### Perdida de carga por elevación

$h_2 = 4[m]$  distancia de elevación de material

$$H_{p4} = h_2 * \gamma_{t2} = 0,016 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$$

### Perdida de carga en el filtro

Para obtener este valor utilizamos la siguiente tabla del apunte de catedra de manejo de materiales

| Tipo de equipo colector            | Capacidad (m <sup>3</sup> por unidad de equipo) | Caida de Presion [kg/cm <sup>2</sup> ] | Promedio de eficiencia de captacion. Porcentaje por tamaño de particulas de 5 - 15 micras (porcentaje) | Concentracion de polvo en gramos m <sup>3</sup>                  | Caudal de gas, m <sup>3</sup> /hora y m <sup>2</sup> de filtro | Tipo de material transport.<br>Ultrafinos: 0 - 10 micras<br>Finos: 53 - 152 micras<br>Granulos: menos de 297       | Aplicaciones  |
|------------------------------------|---|--|--|--|--|--|---|
| Mangas filtrantes sacudidas a mano | 14 - 283  | 0,005 - 0,01                           | mas de 99  | colectores secundarios 2,3 - 23<br>colectores primarios 23 - 230 | 27,5 - 91,5  | Polvos no adhesivos de tamaños medianos a pequeño. Limite respecto de ultrafinos, preferiblemente no higroscopicos | Usado corrientemente en ventilacion y en transporte neumatico. Obturacion de telas ocasiona problemas. Dimensionado para caudal maximo sin promedio |

*Tabla 14 - Valores de perdida de carga para separadores de polvo [4]*

Utilizamos el valor más desfavorable:

$$H_{f1} = 0,01 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$$

### Perdida de carga total

Sumamos todas las pérdidas de carga del sistema:

$$H_{t1} = H_{p1} + H_{p2} + H_{p3} + H_{p4} + H_{f1} = 0,584 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$$

Cálculo de la potencia necesaria para el sistema

$\eta_m = 0,65$  (factor global de rendimiento motor-compresor)

$$P_s = \frac{Q_{v1} * H_{t1} * g}{\eta_m} = 11.02 [KW]$$

Elegimos un motor de 15 [KW] para tener un coeficiente de seguridad mayor. Se utilizan el mismo modelo IE3 de 1500 [rpm] y 380/660V con potencia de 15[KW]

Selección del equipo impulsor

En este caso tenemos que vencer una presión de  $0,584 \left[ \frac{KG}{cm^2} \right]$ , por lo que se necesita un compresor tipo roots como en el caso anterior. Y recordando necesitamos un caudal de:

$$Q_{v1} = 0,125 \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 450 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Buscamos en la tabla de selección de sopladores del fabricante Dosivac:

| MOD    | RPM  | 100(mbar) |        | 200(mbar) |        | 300(mbar) |        | 400(mbar) |        | 500(mbar) |        | 600(mbar) |        | 700(mbar) |        | 800(mbar) |        |
|--------|------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
|        |      | Qs (m³/h) | P (MP) | Qs (m³/h) | P (MP) | Qs (m³/h) | P (MP) | Qs (m³/h) | P (MP) | Qs (m³/h) | P (MP) | Qs (m³/h) | P (MP) | Qs (m³/h) | P (MP) | Qs (m³/h) | P (MP) |
| DS 60  | 1650 | 36        | 0.3    | 34        | 0.5    | 32        | 0.7    | 31        | 0.9    | 29        | 1.1    | 29        | 1.3    |           |        |           |        |
|        | 1800 | 41        | 0.3    | 38        | 0.5    | 37        | 0.8    | 35        | 1.0    | 34        | 1.2    | 33        | 1.4    |           |        |           |        |
|        | 1950 | 45        | 0.3    | 43        | 0.6    | 41        | 0.8    | 40        | 1.1    | 38        | 1.3    | 37        | 1.5    |           |        |           |        |
|        | 2100 | 50        | 0.3    | 47        | 0.6    | 46        | 0.9    | 44        | 1.2    | 43        | 1.4    | 42        | 1.6    |           |        |           |        |
|        | 2250 | 54        | 0.3    | 52        | 0.7    | 50        | 1.0    | 49        | 1.2    | 47        | 1.5    | 46        | 1.7    |           |        |           |        |
|        | 2400 | 58        | 0.4    | 56        | 0.7    | 55        | 1.0    | 53        | 1.3    | 52        | 1.6    | 51        | 1.8    |           |        |           |        |
|        | 2550 | 63        | 0.4    | 61        | 0.8    | 59        | 1.1    | 58        | 1.4    | 56        | 1.7    | 55        | 1.9    |           |        |           |        |
| DS 150 | 850  | 59        | 0.5    | 47        | 1.1    | 38        | 1.6    | 30        | 2.0    | 23        | 2.5    | 17        | 2.9    | 13        | 3.3    | 9         | 3.7    |
|        | 1000 | 79        | 0.6    | 67        | 1.3    | 58        | 1.8    | 49        | 2.4    | 42        | 2.9    | 37        | 3.4    | 32        | 3.9    | 28        | 4.3    |
|        | 1150 | 98        | 0.8    | 86        | 1.4    | 77        | 2.1    | 69        | 2.7    | 61        | 3.3    | 56        | 3.9    | 52        | 4.5    | 47        | 5.0    |
|        | 1300 | 117       | 0.8    | 106       | 1.6    | 97        | 2.4    | 88        | 3.1    | 80        | 3.8    | 75        | 4.4    | 71        | 5.0    | 67        | 5.6    |
|        | 1450 | 136       | 0.9    | 125       | 1.8    | 116       | 2.7    | 107       | 3.4    | 100       | 4.2    | 95        | 4.9    | 90        | 5.6    | 86        | 6.3    |
|        | 1600 | 156       | 1.0    | 144       | 2.0    | 135       | 2.9    | 127       | 3.8    | 119       | 4.6    | 114       | 5.4    | 109       | 6.2    | 106       | 6.9    |
|        | 1750 | 175       | 1.1    | 163       | 2.2    | 154       | 3.2    | 146       | 4.2    | 139       | 5.1    | 133       | 5.9    | 128       | 6.8    | 125       | 7.6    |
| DS 300 | 850  | 124       | 0.8    | 113       | 1.6    | 103       | 2.4    | 93        | 3.1    | 85        | 3.7    | 77        | 4.4    | 71        | 5.0    | 65        | 5.6    |
|        | 1000 | 155       | 1.0    | 145       | 1.9    | 133       | 2.8    | 124       | 3.6    | 116       | 4.4    | 109       | 5.1    | 103       | 5.9    | 96        | 6.5    |
|        | 1150 | 186       | 1.1    | 176       | 2.2    | 164       | 3.2    | 155       | 4.1    | 147       | 5.1    | 140       | 5.9    | 133       | 6.7    | 127       | 7.5    |
|        | 1300 | 217       | 1.3    | 207       | 2.5    | 196       | 3.6    | 186       | 4.7    | 178       | 5.7    | 170       | 6.7    | 164       | 7.6    | 158       | 8.5    |
|        | 1450 | 248       | 1.4    | 238       | 2.8    | 226       | 4.0    | 217       | 5.2    | 209       | 6.4    | 202       | 7.5    | 196       | 8.5    | 189       | 9.5    |
|        | 1600 | 279       | 1.6    | 269       | 3.1    | 257       | 4.5    | 248       | 5.8    | 240       | 7.0    | 233       | 8.2    | 226       | 9.4    | 220       | 10.5   |
|        | 1750 | 310       | 1.7    | 300       | 3.3    | 289       | 4.9    | 279       | 6.3    | 271       | 7.7    | 263       | 9.0    | 257       | 10.3   | 251       | 11.5   |
| DS 500 | 850  | 194       | 1.5    | 172       | 2.9    | 152       | 4.1    | 134       | 5.3    | 117       | 6.3    | 102       | 7.3    | 89        | 8.2    | 77        | 9.1    |
|        | 1000 | 248       | 1.8    | 226       | 3.4    | 206       | 4.9    | 188       | 6.2    | 171       | 7.5    | 156       | 8.6    | 143       | 9.7    | 131       | 10.7   |
|        | 1150 | 302       | 2.0    | 280       | 3.9    | 260       | 5.6    | 242       | 7.1    | 225       | 8.6    | 210       | 9.9    | 197       | 11.2   | 185       | 12.3   |
|        | 1300 | 356       | 2.3    | 334       | 4.4    | 314       | 6.3    | 296       | 8.1    | 279       | 9.7    | 264       | 11.2   | 251       | 12.6   | 239       | 13.9   |
|        | 1450 | 410       | 2.6    | 388       | 4.9    | 368       | 7.0    | 350       | 9.0    | 333       | 10.8   | 318       | 12.5   | 305       | 14.1   | 293       | 15.5   |
|        | 1600 | 464       | 2.8    | 464       | 5.4    | 422       | 7.8    | 404       | 9.9    | 387       | 11.9   | 372       | 13.8   | 359       | 15.5   | 347       | 17.1   |
|        | 1750 | 518       | 3.1    | 496       | 5.9    | 476       | 8.5    | 458       | 10.9   | 441       | 13.1   | 426       | 15.1   | 413       | 17.0   | 401       | 18.7   |
| DS 700 | 850  | 348       | 2.1    | 311       | 4.0    | 279       | 5.8    | 250       | 7.4    | 224       | 8.9    | 202       | 10.3   | 182       | 11.6   | 164       | 12.8   |
|        | 1000 | 424       | 2.5    | 387       | 4.7    | 355       | 6.8    | 325       | 8.7    | 300       | 10.5   | 277       | 12.1   | 257       | 13.6   | 240       | 15.0   |
|        | 1150 | 499       | 2.8    | 463       | 5.4    | 430       | 7.8    | 401       | 10.0   | 376       | 12.0   | 353       | 13.9   | 333       | 15.6   | 316       | 17.2   |
|        | 1300 | 575       | 3.2    | 538       | 6.1    | 506       | 8.8    | 476       | 11.3   | 451       | 13.6   | 428       | 15.7   | 409       | 17.7   | 391       | 19.5   |
|        | 1450 | 650       | 3.6    | 614       | 6.9    | 581       | 9.9    | 552       | 12.6   | 527       | 15.2   | 504       | 17.5   | 484       | 19.7   | 467       | 21.8   |
|        | 1600 | 726       | 4.0    | 689       | 7.6    | 657       | 10.9   | 628       | 13.9   | 602       | 16.7   | 580       | 19.3   | 560       | 21.8   | 542       | 24.0   |
|        | 1750 | 802       | 4.3    | 765       | 8.3    | 733       | 11.9   | 703       | 15.2   | 678       | 18.3   | 655       | 21.1   | 635       | 23.8   | 618       | 26.2   |

Tabla 15 - Tabla de selección de compresores Dosivac

El soplador que más se ajusta a nuestros requerimientos es el modelo DS 700.

Según la tabla el soplador a 1300 [rpm] y 0,6 [mbar] de presión entrega un caudal de

$$428 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Esto significa que aproximadamente a 1500 [rpm] entrega:

$$Q_{real} = 428 \left[ \frac{m^3}{h} \right] * \frac{1500[rpm]}{1300[rpm]} = 492 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

No consideramos que sea necesario realizar una reducción de velocidad, por lo tanto, se acoplara directo al motor.

### Selección de electroválvulas

Se selecciona la misma electroválvula tipo guillotina que en el transporte anterior. Se trata del modelo XC con Diámetro nominal de 100 [mm] marca *Orbinox*. Se utilizará el mismo modelo para la electroválvula dosificadora como para la de descarga (ubicada entre la tolva y el batch).

## 4.4 Lógica de automatización

El PLC para comandar toda la dosificación del proyecto es el modelo V700 del fabricante *Unitronics*. Este equipo viene con una pantalla táctil HMI para la interfaz hombre maquina y cuenta con la capacidad de conectar hasta 100 entradas y salidas mediante la utilización de módulos de expansión.



Imagen 53 - PLC modelo V700 marca Unitronics

Recordando, como entrada hay 4 celdas de carga. Mientras que para las salidas tenemos 33 electroválvulas, 2 variadores de velocidad, 2 arrancadores suaves y 1 contactor, totalizando 38 salidas. Utilizando la tabla de selección del fabricante *Unitronics* elegimos los módulos.

|  |                   | Inputs               |                  |                                       |                         |                           | Outputs                 |                      |       |   |                    |              |
|--|-------------------|----------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|-------|---|--------------------|--------------|
|  | Expansion Modules | Digital <sup>5</sup> | HSC <sup>5</sup> | Analog                                | Temperature Measurement | Weight Measurement        | Transistor <sup>9</sup> | PWM/HSO <sup>6</sup> | Relay | Analog                                    | Operating Voltage  |              |
| Digital  | EX90-DI8-RO8 3    | 8 pnp                | 1 5kHz 16-bit    | None                                  | None                    | None                      | None                    | None                 | 8     | None                                      | 24VDC              |              |
|  | IO-DI16           | 16 pnp/npn           | 1 5kHz 16-bit    | None                                  | None                    | None                      | None                    | None                 | None  | None                                      | 24VDC <sup>9</sup> |              |
|  | IO-TO16           | None                 | None             | None                                  | None                    | None                      | 16 pnp                  | None                 | None  | None                                      | 24VDC              |              |
|  | IO-RO8            | None                 | None             | None                                  | None                    | None                      | None                    | None                 | 8     | None                                      | 24VDC <sup>9</sup> |              |
|  | IO-RO16           | None                 | None             | None                                  | None                    | None                      | None                    | None                 | 16    | None                                      | 24VDC <sup>9</sup> |              |
|  | IO-DI8ACH         | 8 AC                 | None             | None                                  | None                    | None                      | None                    | None                 | None  | None                                      | 110/220 VAC        |              |
| Analog, Temperature and Weight/Strain Measurements | IO-AI4-AO2        | None                 | None             | 4 0-10V, 0-20mA, 4-20mA 12-bit        | None                    | None                      | None                    | None                 | None  | 2 ±10V 12-bit+sign, 0-20mA, 4-20mA 12-bit | 24VDC              |              |
|  | IO-PT400          | None                 | None             | None                                  | 4 PT100/NI100/NI120     | None                      | None                    | None                 | None  | None                                      | Not relevant       |              |
|  | IO-PT4K           | None                 | None             | None                                  | 4 PT1000/NI1000         | None                      | None                    | None                 | None  | None                                      | Not relevant       |              |
|  | IO-AO6X           | None                 | None             | None                                  | None                    | None                      | None                    | None                 | None  | 6 (isolated) 0-10V, 0-20mA, 4-20mA 12-bit | 24VDC              |              |
|  | IO-LC1            | 1 pnp                | None             | None                                  | None                    | 1 Loadcell / Strain gauge | 2 pnp                   | None                 | None  | None                                      | 24VDC              |              |
|  | IO-LC3            | 1 pnp                | None             | None                                  | None                    | 3 Loadcell / Strain gauge | 2 pnp                   | None                 | None  | None                                      | 24VDC              |              |
|  | IO-ATC8           | None                 | None             | 8 Thermocouple, 0-10V, 0-20mA, 4-20mA | None                    | None                      | None                    | None                 | None  | None                                      | None               | Not relevant |

Tabla 16 - Selección de módulos expandibles

El módulo IO-LC3 permite poder conectar 3 celdas de carga, mientras que en el módulo IO-LC1 conectaríamos la celda de carga faltante. Para las salidas utilizaremos 3 módulos IO-TO16. Las salidas sobrantes se utilizarán en la futura ampliación.

## 4.5 Programación y puesta en marcha de la automatización

El servicio de cableado, armado de tableros eléctricos, conexionado y puesta en marcha de la automatización lo llevará a cabo la empresa MRM automatización y control, empresa con la cual nos estuvimos comunicando y asesorando. Un resumen de todos los equipos y componentes de la automatización de la planta productiva se muestra en la siguiente tabla:

| Automatización               |                                      |            |                   |              |          |
|------------------------------|--------------------------------------|------------|-------------------|--------------|----------|
| Sector                       | Equipos                              | Marca      | Modelo            | Presentación | Cantidad |
| <b>Líquidos Livianos</b>     | Cañería SCH 40 diámetro 3/4 "        |            |                   | metros       | 200      |
|                              | Bomba neumática de 3/4"              | ARO        | PE07              | Unidad       | 6        |
|                              | Electroválvula 24V 6mm               | PARKER     | 550091DIS         | Unidad       | 6        |
|                              | Electroválvula 24V 18mm              | PARKER     | 321K3706-482606C2 | Unidad       | 7        |
|                              | Celda de Carga 10 KG                 | GAMA       | QSF-A             | Unidad       | 1        |
| <b>Líquidos Pesados</b>      | Cañería SCH40 diámetro 1 y 1/4 "     |            |                   | metros       | 160      |
|                              | Bomba neumática de 1 y 1/2"          | ARO        | PE15              | Unidad       | 3        |
|                              | Bomba Centrifuga de 5,5 KW           | CZERWENY   | EB-65-40-200-1    | Unidad       | 1        |
|                              | Electroválvula 24V 18mm              | PARKER     | 321K3606-482606C2 | Unidad       | 3        |
|                              | Electroválvula 24V 35mm              | PARKER     | 550032DIS         | Unidad       | 5        |
|                              | Celda de Carga 500 KG                | REACCION   | CVCC-1000         | Unidad       | 1        |
| <b>Sólidos Livianos</b>      | Cañería SCH40 diámetro 2 "           |            |                   | Unidad       | 20       |
|                              | Electroválvula 24V 50mm              | PARKER     | 444143W           | Unidad       | 3        |
|                              | Celda de Carga 10 KG                 | GAMA       | QSF-A             | Unidad       | 1        |
| <b>Sólidos Pesados</b>       | Cañería SCH40 diámetro 4"            |            |                   | Unidad       | 60       |
|                              | Motor 11 KW 1500rpm                  | WEG        | IE3               | Unidad       | 1        |
|                              | Motor 15 KW 1500rpm                  | WEG        | IE4               | Unidad       | 1        |
|                              | Soplador roots                       | Dosivac    | DS500             | Unidad       | 1        |
|                              | Soplador roots                       | Dosivac    | DS700             | Unidad       | 1        |
|                              | Electroválvula 24V 100mm             | Orbinox    | XC100             | Unidad       | 4        |
|                              | Electroválvula 24V 100mm             | Orbinox    | 550032DIS         | Unidad       | 5        |
|                              | Celda de Carga 500 KG                | REACCION   | CVCC-1000         | Unidad       | 1        |
|                              | Ciclón de 180mm de diámetro          |            |                   | Unidad       | 1        |
| Filtro de cartucho de 2400mm | PRILLWITZ                            | HDF 12     | Unidad            | 1            |          |
| <b>Lógica</b>                | Controlador Lógico Programable (PLC) | Unitronics | v700              | Unidad       | 1        |
|                              | Modulo expansible celda de carga     | Unitronics | IO-LC3            | Unidad       | 1        |
|                              | Modulo expansible celda de carga     | Unitronics | IO-LC1            | Unidad       | 1        |
|                              | Modulo expansibles salidas           | Unitronics | IO-TO16           | Unidad       | 3        |

Tabla 17 - Resumen automatización

#### 4.6 Análisis de tiempos

A continuación, se muestra el análisis de tiempo. Para realizarlo tuvimos en cuenta los tiempos de accionamiento de cada uno de los equipos impulsores (bombas y soplantes) y tuvimos en cuenta un tiempo extra que contempla la apertura y cierre de electroválvulas, como también tiempos imprevistos. El análisis por dispersora se muestra en la tabla 18 y el análisis del proceso por lote productivo en la tabla 19.

| Proceso productivo por Dispersora |                         |              |               |                  |        |              |                    |                    |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------|---------------|------------------|--------|--------------|--------------------|--------------------|
| Item                              | Compuesto               | Cantidad (L) | Cantidad (KG) | Equipo           | Caudal | Tiempo (min) | Tiempo extra (min) | Tiempo total (min) |
| 1                                 | Agua                    | 95           |               | Bomba Centrífuga | 200    | 0,48         | 1                  | 1,48               |
| 2                                 | Anti-espuma             | 1            |               | Bomba Neumática  | 56     | 0,02         | 1                  | 1,02               |
| 3                                 | Espesante               |              | 4             |                  |        | 1,00         |                    | 1,00               |
| 4                                 | Corrector               | 1            |               | Bomba Neumática  | 56     | 0,02         | 1                  | 1,02               |
| 5                                 | Aditivo 1               |              | 1             |                  |        | 1,00         |                    | 1,00               |
| 6                                 | Aditivo 2               | 2            |               | Bomba Neumática  | 56     | 0,04         | 1                  | 1,04               |
| 7                                 | Dispersante             | 2            |               | Bomba Neumática  | 56     | 0,04         | 1                  | 1,04               |
| 8                                 | Aditivo 3               | 20           |               | Bomba Neumática  | 56     | 0,36         | 2                  | 2,36               |
| 9                                 | Aditivo 4               | 5            |               | Bomba Neumática  | 56     | 0,09         | 1                  | 1,09               |
| 10                                | Pigmento                |              | 62            | Soplador         | 300    | 0,21         | 2                  | 2,21               |
| 11                                | Árido                   |              | 273           | Soplador         | 300    | 0,91         | 2                  | 2,91               |
| 12                                | Emulsión 1              | 162          |               | Bomba Neumática  | 460    | 0,35         | 2                  | 2,35               |
| 13                                | Emulsión 2              | 23           |               | Bomba Neumática  | 460    | 0,05         | 2                  | 2,05               |
| 14                                | Biocida                 | 2            |               | Bomba Neumática  | 56     | 0,04         | 1                  | 1,04               |
| 15                                | Batido a alta velocidad |              |               | Dispersora       |        | 20           |                    | 20,00              |
| 16                                | Batido a baja velocidad |              |               |                  |        | 5            |                    | 5,00               |
| 17                                | Vaciado de Batch        |              |               |                  |        | 4            | 1                  | 5,00               |
| Total (min)                       |                         |              |               |                  |        | 33,58        | 18,00              | 51,58              |

Tabla 18 - análisis de tiempo por dispersora

| Proceso productivo General |                               |        |             |              |
|----------------------------|-------------------------------|--------|-------------|--------------|
| Referencia                 | Compuesto                     | Unidad | Cantidad    | Tiempo (min) |
| 1                          | Proceso productivo dispersora | Litros | 500         | 51,58        |
| 2                          | Envasado                      | Baldes | 48          | 7,00         |
| 3                          | Apilado de Envases            | Baldes | 48          | 5,00         |
| 4                          | Envoltura de film             | Baldes | 1           | 2,00         |
| 5                          | Ubicar pallet en rack         | Pallet | 1           | 5,00         |
|                            |                               |        | Total (min) | 70,58        |

Tabla 19 - Análisis de tiempo por proceso

## 5. Instalaciones industriales

### 5.1 Instalación Neumática

El aire comprimido se utiliza como fuente de energía para alimentar las distintas máquinas y herramientas que existen dentro de la fábrica. Es necesario contar con un correcto dimensionamiento de la red de aire para tener un buen rendimiento.

En la planta los consumos de aire comprimido vendrán principalmente por el sistema de automatización, el cual cuenta con bombas neumáticas de diafragma y una variedad de actuadores neumáticos como las electroválvulas y la maquina envasadora.

#### 5.1.1 Consumo de aire comprimido.

El primer paso a la hora de dimensionar una red de aire comprimido es conocer el consumo que debemos abastecer, para esto sumamos todos los consumos individuales. Todos los consumos serán utilizados durante toda la jornada laboral, se considera la situación más desfavorable, que es que todos estén funcionando simultáneamente. Se le aplica un factor de utilización, este representa la cantidad de horas que estará funcionando durante la jornada laboral (8hs).

| Equipo                | Consumo Unitario [L/min] | Cantidad | Factor de Utilización | Consumo total [L/min] |
|-----------------------|--------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|
| Envasadora            | 1000                     | 1        | 0,75                  | 750                   |
| Bomba de diafragma L1 | 56                       | 6        | 0,125                 | 42                    |
| Bomba de diafragma L2 | 465,9                    | 3        | 0,25                  | 349,425               |
| Total                 |                          |          |                       | 1141,425              |

*Tabla 20 - Consumos de aire comprimido*

### 5.1.2 Compresor

Se utilizarán dos compresores iguales, los cuales irán alternando su funcionamiento y ante cualquier falla se dispondrá de uno de respaldo para poder seguir produciendo.

El compresor y el tanque se seleccionaron en función del consumo de la planta y la presión necesaria para el funcionamiento de los equipos. Procederemos a verificar que estos sean capaces de alimentar a toda la planta o si necesitaremos que ambos compresores funcionen de manera simultánea, pero bajo una menor carga.

Se selecciono el compresor modelo NB10/10 FT/500 de la marca *NUAIR*. En la tabla 21 se muestran sus características.



Imagen 54 - Compresor modelo NB10 marca NUAIR

| Prestaciones            |               |                   |                   |                           |             |           |           |                        |                      |             |  |
|-------------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------------------|-------------|-----------|-----------|------------------------|----------------------|-------------|--|
| Nombre                  | Código        | Potencia<br>hp/kw | Caldera<br>litros | Aire aspirado<br>lts/min. | Volt/hz.    | Lubricado | Cilindros | Presión<br>max.<br>bar | Dimensiones<br>lhxax | Peso<br>kg. |  |
| <b>GAMA 11 BAR</b>      |               |                   |                   |                           |             |           |           |                        |                      |             |  |
| NB5/5,5 FT/270 Nuair    | N5NN701LEV076 | 5,5/4             | 270               | 640                       | 400/TRIF/50 | SI        | 2         | 11                     | 1550x590x1100        | 175         |  |
| NB7/7,5 FT/500 Nuair    | N7TN801NUA    | 7,5/5,5           | 500               | 840                       | 400/TRIF/50 | SI        | 2         | 11                     | 2080x700x1450        | 276         |  |
| NB10/10 FT/500 Nuair SD | N1TN905NUA    | 10/7,5            | 500               | 1230                      | 400/TRIF/50 | SI        | 2         | 11                     | 2080x700x1450        | 286         |  |

Tabla 21 - Tabla de selección de compresores NUAIR

Este modelo satisface el caudal necesario y provee una presión suficiente para hacer funcionar los equipos de manera correcta. Ahora debemos verificar que las dimensiones del tanque sean lo suficientemente grandes para que los ciclos de carga/descarga sean menores a 5 por hora, que es lo recomendado para compresores de hasta 100 [HP].

Para se aplica la ecuación que recomienda el fabricante:

$$V_R = \frac{V_1 * (D_F - D_F^2)}{Z * D_P}$$

Donde:

$V_R$  es el volumen del tanque en [ $m^3$ ]

$V_1$  es el caudal del compresor en [ $\frac{m^3}{h}$ ]

$V_2$  es la demanda del sistema de aire comprimido en [ $\frac{m^3}{h}$ ]

$D_F$  es el factor de carga y viene dado por [ $\frac{V_2}{V_1}$ ]

$D_P$  es el diferencial de presión en [Bar]

$Z$  es el número de ciclos, el cual queremos verificar.

$$Z = \frac{V_1 * (D_F - D_F^2)}{V_R * D_P}$$

$$Z = \frac{73,8 [m^3/h] * (0,93 - 0,93^2)}{0,5 [m^3] * 0,689[Bar]}$$

$$Z = 13,95 \left[ \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}} \right]$$

Se debe tener en cuenta que debemos agregar un tanque para que se reduzca a 5 ciclos por hora, por esto realizaremos la ecuación inversa para calcular el volumen de dicho deposito.

$$V_R = \frac{73,8 [m^3/h] * (0,93 - 0,93^2)}{5 \left[ \frac{ciclos}{hora} \right] * 0,689 [bar]}$$

$$V_R = 1,4 [m^3]$$

Si a este valor le restamos el del tanque necesitaríamos un tanque de 0,9 [m<sup>3</sup>] ya que se le resta el volumen del tanque del compresor, el cual es de 0,5 [m<sup>3</sup>]. Se utilizará un tanque de 1 [m<sup>3</sup>], ya que esta es una medida estándar.



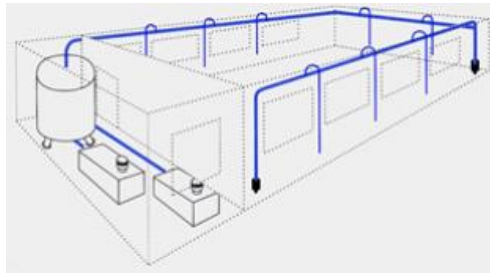
*Imagen 55 - Tanque de aire comprimido*

Podemos observar que con las dimensiones de este tanque verifica.

### 5.1.3 Tipo de red

Para distribuir el aire comprimido a través de toda la planta se debe crear una red que sea capaz de llevar el aire hacia todos los puntos de demanda existentes con la presión que los equipos necesiten para su correcto funcionamiento. Existen dos tipos de redes que se utilizan: redes abiertas (ramificadas) y redes cerradas (anillo).

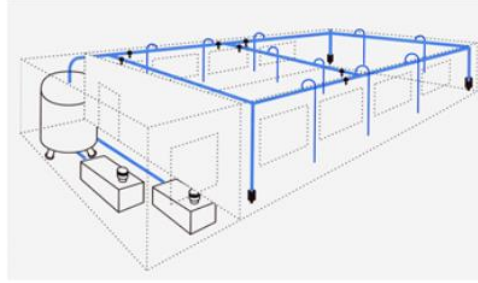
Las redes abiertas están formadas por una línea principal de la cual se abastecen todos los equipos, tal y como lo muestra la imagen 56.



*Imagen 56 -Configuración red abierta de aire comprimido*

La ventaja de este tipo de instalación es el bajo costo de inversión inicial, pero la desventaja es que a la hora de realizar un mantenimiento implica una detención de la instalación.

Por otro lado, las redes cerradas están formadas por un anillo y permite alimentar a los equipos que estén dentro de ese anillo con una presión constante, la imagen 57 lo esquematiza.



*Imagen 57 - Configuración red en anillo de aire comprimido*

La ventaja de este tipo de distribución es que se puede realizar mantenimientos durante la jornada laboral y permite una presión constante en todos los puntos.

#### **5.1.4 Distribución seleccionada**

Se optará por utilizar la red de distribución abierta, ya que con la disposición de los equipos sería muy costoso e inviable los metros de cañería que se instalarían solo para cerrar la red. Se muestra a continuación como será la distribución y las distancias que debe cubrir la red.

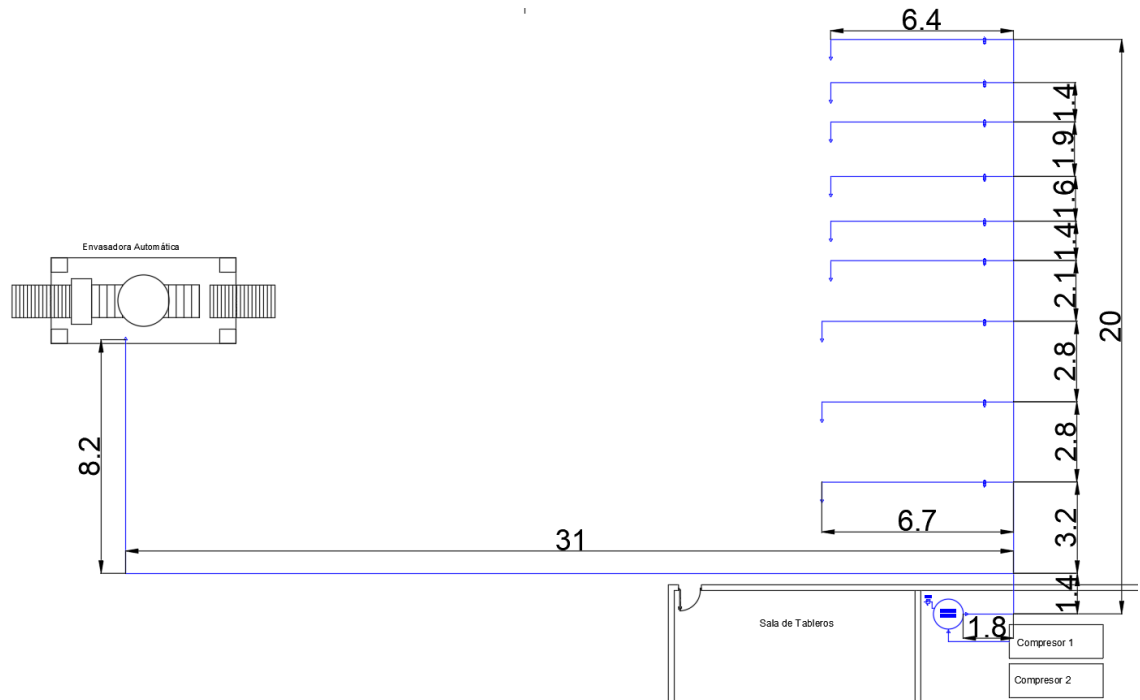


Imagen 58 - Distribución y distancias de red de aire comprimido

### 5.1.5 Diámetro de cañerías

Para seleccionar los diámetros de las cañerías se utilizará la calculadora de *Transair* perteneciente a la marca *Parker*. Esta página nos permite determinar el diámetro necesario solo especificando el tipo de fluido, la presión necesaria, el tipo de distribución de la red, el caudal de aire a transportar y la longitud de la cañería. Se utilizará como presión necesaria 8 [bar] y una caída de presión máxima del 5% para todos los cálculos. Se realizarán los cálculos para todos puntos de consumo de la instalación. Se adjuntan las capturas de cada caso.

- Primer tramo de cañería con el mayor caudal (el suministrado por el compresor), hasta la bifurcación con las dos ramas.
- Datos: Caudal de  $73.8 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  y 4 metros de longitud de cañería.

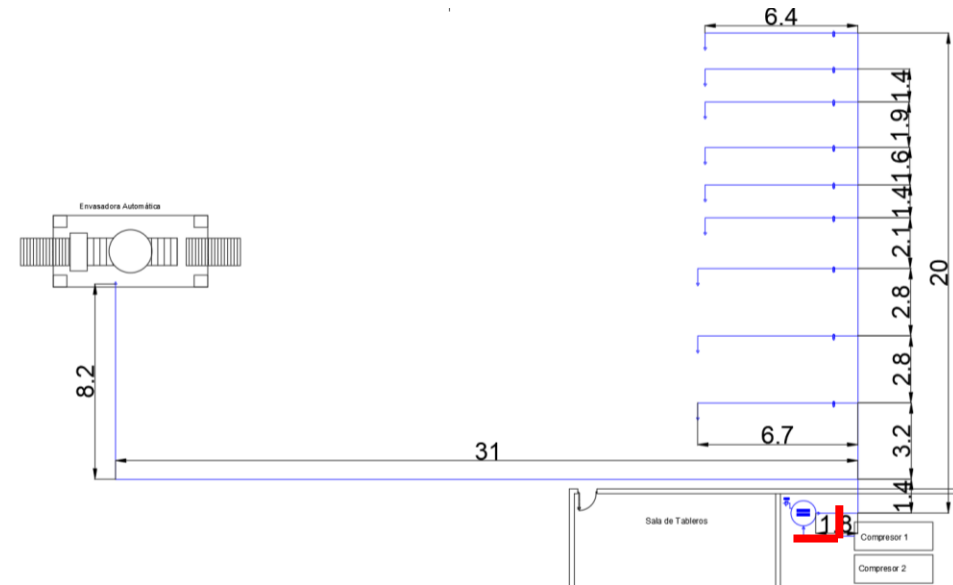


Imagen 59 – Layout verificación 1 de cañería de aire comprimido

| Datos del proyecto      |                          | Resultados del proyecto                  |                         |
|-------------------------|--------------------------|--|-------------------------|
| Nombre del proyecto     | Planta de pinturas       | Dimensionamiento                         |                         |
| Contacto del cliente    | Facultad Regional Paraná | Díámetro Transair®                       | 16.5 mm                 |
| Fecha                   | 20/01/2024               | Caudal máximo Transair®                  | 144 Nm <sup>3</sup> /hr |
| Gas                     | Aire comprimido          | Velocidad del gas                        | 17.4 m/s                |
| Presión                 | 8 bar(g)                 | Pérdida de carga                         |                         |
| Caudal                  | 73.8 Nm <sup>3</sup> /hr | Tubo de aluminio Transair®               | 0.11 bar(g)             |
| Longitud                | 4 m                      | Tubo de acero nuevo                      | 0.21 bar(g)             |
| Pérdida de carga máxima | 0.4 bar(g) o 5 %         | Tubo de acero oxidado                    | 0.47 bar(g)             |
| Red                     | Línea recta              | <a href="#">Solicitud de presupuesto</a> |                         |
| Gama Transair           | Aluminio                 |  |                         |

Imagen 60 - Resultados software transair tramo 1 de cañería

Diámetro: 16.5 [mm]

Perdida de carga: 0.11 [bar]

Velocidad:  $17.4 \left[ \frac{m}{s} \right]$

- Tramo de cañería de mayor demanda de caudal y más alejado (envasadora).
- Caudal  $45 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  y 41 metros de longitud de cañería.

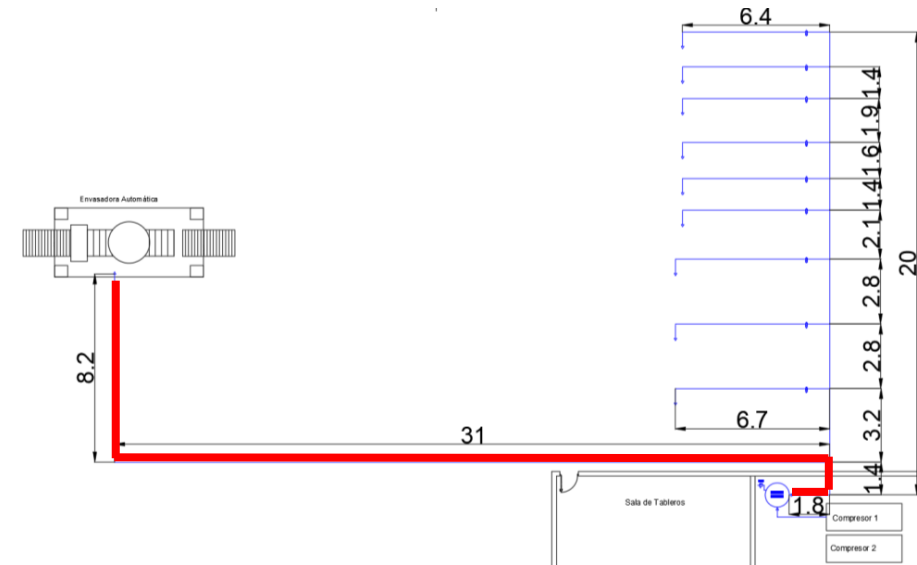


Imagen 61 – Layout verificación 2 de cañería de aire comprimido

**Transair Flow Calculator**

Nombre del proyecto:

Contacto del cliente:

Fecha:

**Datos del proyecto**

Gas:

Presión:  bar(g)

Caudal:  Nm<sup>3</sup>/hr

Longitud:  m

Pérdida de carga máxima:  bar(g) o  %

Red:

Gama Transair:

**Resultados del proyecto**

**Dimensionamiento**

Diámetro Transair®:  mm

Caudal máximo Transair®:  Nm<sup>3</sup>/hr

Velocidad del gas:  m/s

**Pérdida de carga**

Tubo de aluminio Transair®:  bar(g)

Tubo de acero nuevo:  bar(g)

Tubo de acero oxidado:  bar(g)

Imagen 62 - Resultados software transair tramo 2 de cañería

Diámetro: 25 [mm]

Perdida de carga: 0.03 [bar]

Velocidad: 3.7 [m/s]

- Tramo de cañería a la primera bomba.
- Caudal  $23.5 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  y 12 metros de longitud de cañería.

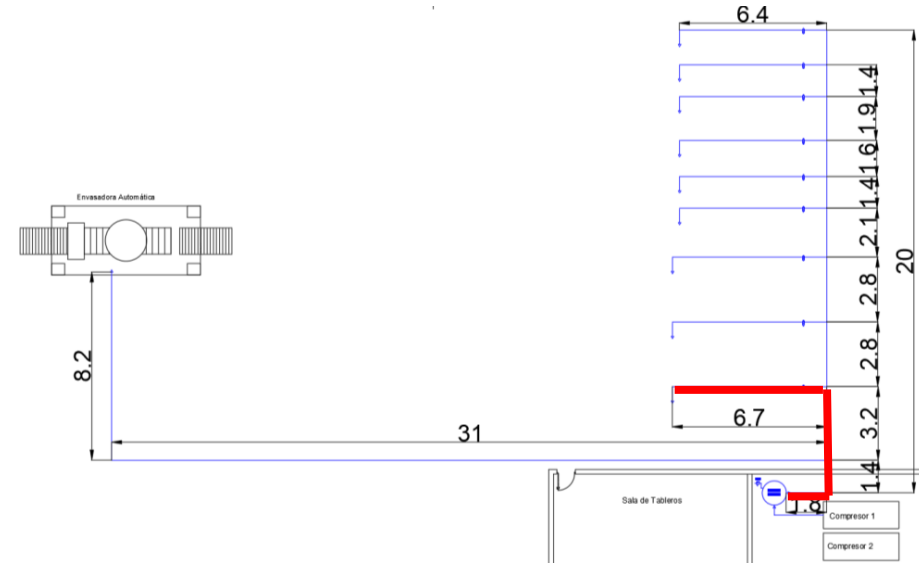


Imagen 63 - Layout verificación 3 de cañería de aire comprimido

**Transair Flow Calculator**

Nombre del proyecto:

Contacto del cliente:

Fecha:

**Datos del proyecto**

Gas:

Presión:  bar(g)

Caudal:  Nm<sup>3</sup>/hr

Longitud:  m

Pérdida de carga máxima:  bar(g) o  %

Red:

Gama Transair:

**Resultados del proyecto**

**Dimensionamiento**

Diámetro Transair®:  mm

Caudal máximo Transair®:  Nm<sup>3</sup>/hr

Velocidad del gas:  m/s

**Pérdida de carga**

Tubo de aluminio Transair®:  bar(g)

Tubo de acero nuevo:  bar(g)

Tubo de acero oxidado:  bar(g)

Imagen 64 - Resultados software transair tramo 3 de cañería

Diámetro: 16.5 [mm]

Perdida de carga: 0.04 [bar]

Velocidad: 5.5 [m/s]

- Tramo de cañería a la segunda bomba.
- Caudal  $16.5 \left[\frac{m^3}{h}\right]$  y 16 metros de longitud de cañería.

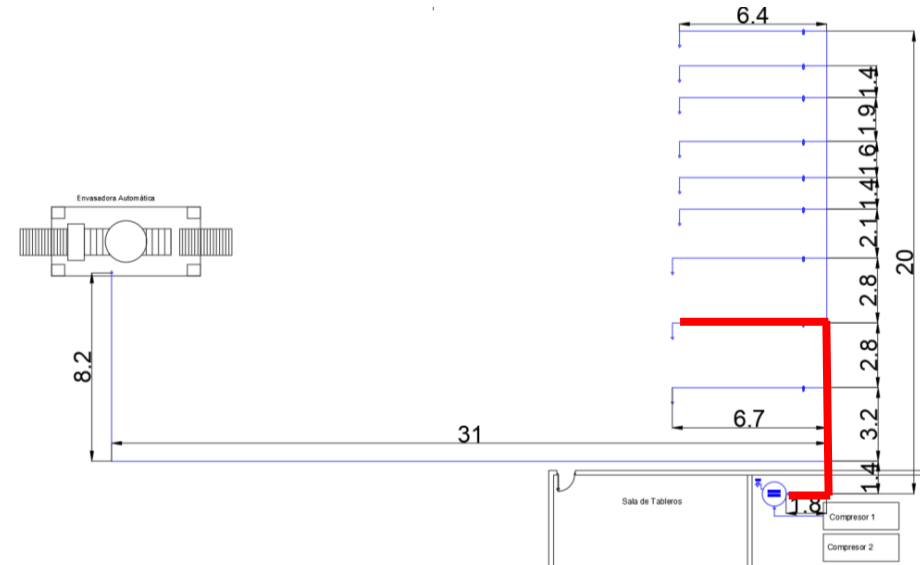


Imagen 65 - Layout verificación 4 de cañería de aire comprimido

Imagen 66 - Resultados software transair tramo 4 de cañería

Diámetro: 16.5 [mm]

Perdida de carga: 0.03 [bar]

Velocidad: 3.9 [m/s]

- Tramo de cañería a la tercera bomba.
- Caudal  $9.5 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  y 19 metros de longitud de cañería.

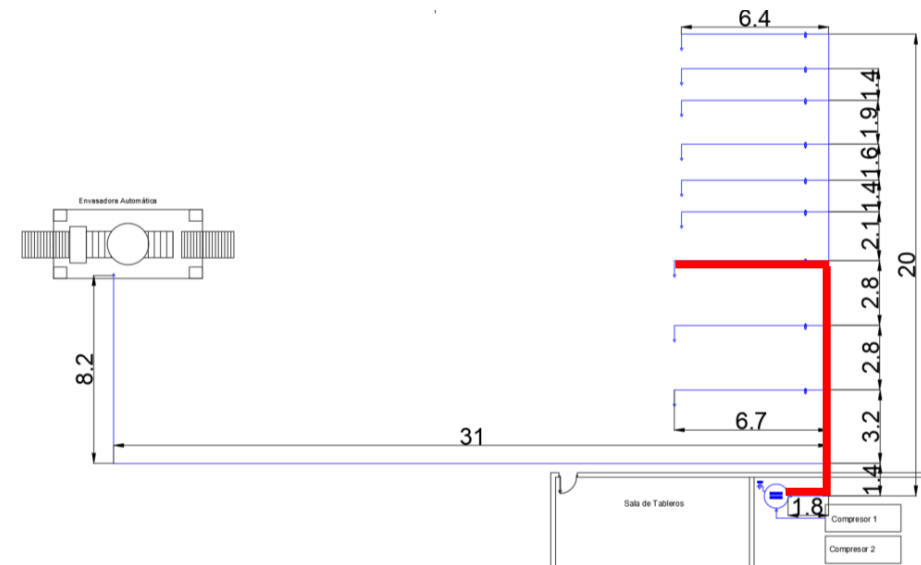


Imagen 67 - Layout verificación 5 de cañería de aire comprimido

Imagen 68 - Resultados software transair tramo 5 de cañería

Diámetro: 16.5 [mm]

Perdida de carga: 0.01 [bar]

Velocidad: 2.2 [m/s]

- Tramo de cañería a la cuarta bomba.
- Caudal  $2.52 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  y 21 metros de longitud de cañería.

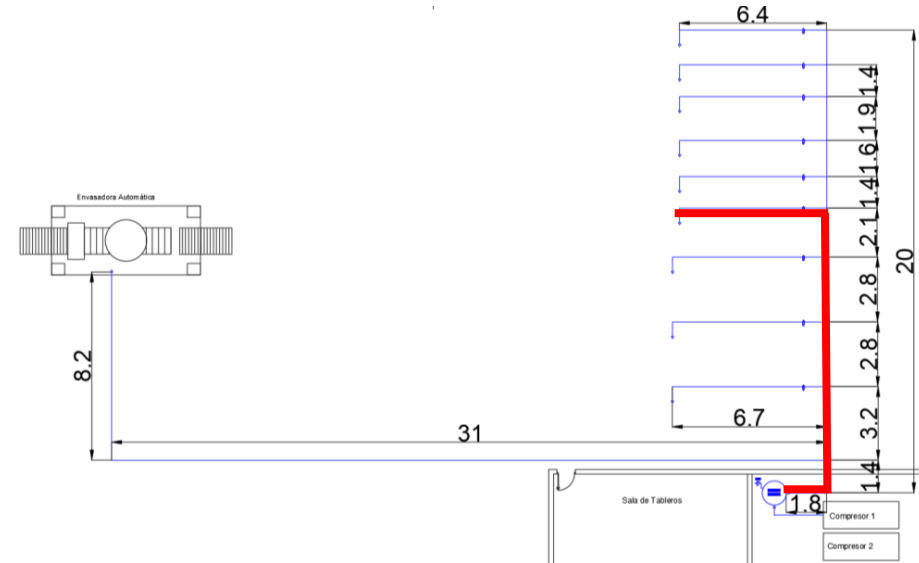


Imagen 69 - Layout verificación 6 de cañería de aire comprimido

**Transair Flow Calculator**

Nombre del proyecto:

Contacto del cliente:

Fecha:

**Datos del proyecto**

Gas:

Presión:  bar(g)

Caudal:  Nm<sup>3</sup>/hr

Longitud:  m

Pérdida de carga máxima:  bar(g) o  %

Red:

Gama Transair:

**Resultados del proyecto**

**Dimensionamiento**

Diámetro Transair®:  mm

Caudal máximo Transair®:  Nm<sup>3</sup>/hr

Velocidad del gas:  m/s

**Pérdida de carga**

Tubo de aluminio Transair®:  bar(g)

Tubo de acero nuevo:  bar(g)

Tubo de acero oxidado:  bar(g)

Imagen 70 - Resultados software transair tramo 6 de cañería

Diámetro: 16.5 [mm]

Perdida de carga: 0.00 [bar]

Velocidad: 0.6 [m/s]

- Tramo de cañería a la quinta bomba.
- Caudal  $2.1 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  y 22 metros de longitud de cañería.

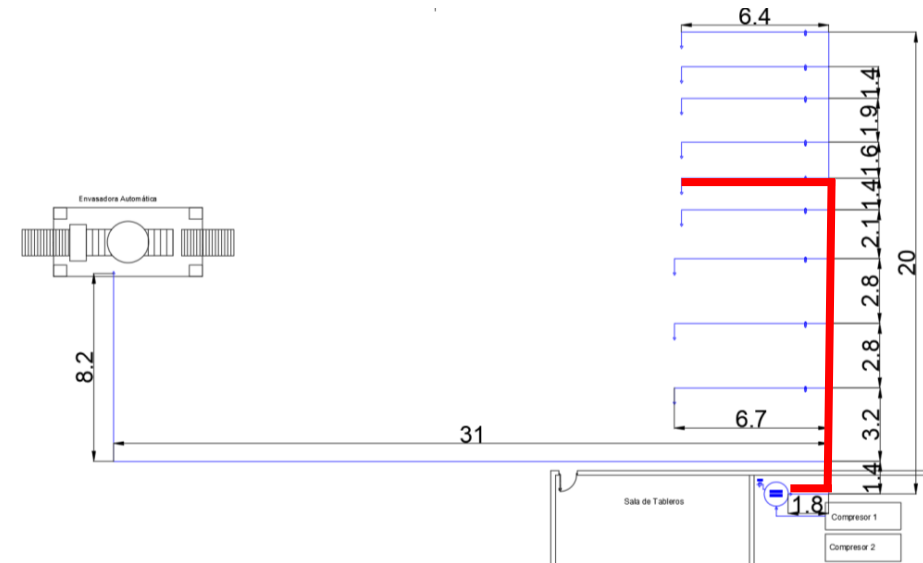


Imagen 71 - Layout verificación 7 de cañería de aire comprimido

**Transair Flow Calculator**

Nombre del proyecto:

Contacto del cliente:

Fecha:

**Datos del proyecto**

Gas:

Presión:  bar(g)

Caudal:  Nm<sup>3</sup>/hr

Longitud:  m

Pérdida de carga máxima:  bar(g) o  %

Red:

Gama Transair:

**Resultados del proyecto**

**Dimensionamiento**

Diámetro Transair®:  mm

Caudal máximo Transair®:  Nm<sup>3</sup>/hr

Velocidad del gas:  m/s

**Pérdida de carga**

Tubo de aluminio Transair®:  bar(g)

Tubo de acero nuevo:  bar(g)

Tubo de acero oxidado:  bar(g)

Imagen 72 - Resultados software transair tramo 7 de cañería

Diámetro: 16.5 [mm]

Perdida de carga: 0.00 [bar]

Velocidad: 0.5 [m/s]

- Tramo de cañería a la sexta bomba.
- Caudal  $1.68 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  y 24 metros de longitud de cañería.

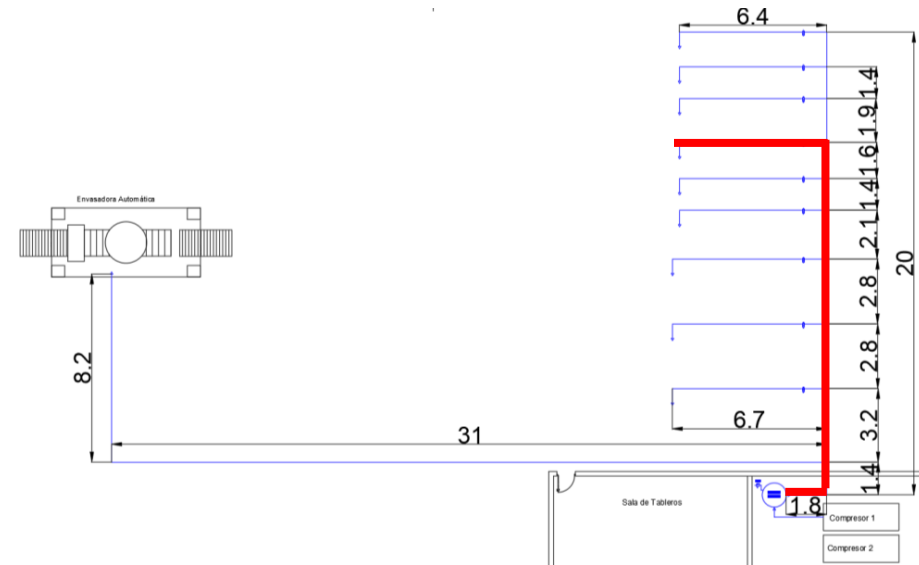


Imagen 73 - Layout verificación 8 de cañería de aire comprimido

**Transair Flow Calculator**

Nombre del proyecto: Planta de pinturas  
 Contacto del cliente: Facultad Regional Paraná  
 Fecha: 20/01/2024

**Datos del proyecto**

Gas: Aire comprimido  
 Presión: 8 bar(g)  
 Caudal: 1.68 Nm<sup>3</sup>/hr  
 Longitud: 24 m  
 Pérdida de carga máxima: 0.4 bar(g) o 5 %  
 Red: Línea recta  
 Gama Transair: Aluminio

**Resultados del proyecto**

Dimensionamiento  
 Diámetro Transair®: 16.5 mm  
 Caudal máximo Transair®: 57 Nm<sup>3</sup>/hr  
 Velocidad del gas: 0.4 m/s

Pérdida de carga  
 Tubo de aluminio Transair®: 0.00 bar(g)  
 Tubo de acero nuevo: 0.00 bar(g)  
 Tubo de acero oxidado: 0.00 bar(g)

[Solicitud de presupuesto](#)

[Tamaño del diámetro](#)

Imagen 74 - Resultados software transair tramo 8 de cañería

Diámetro: 16.5 [mm]

Perdida de carga: 0.00 [bar]

Velocidad: 0.4 [m/s]

- Tramo de cañería a la séptima bomba.
- Caudal  $1.26 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  y 26 metros de longitud de cañería.

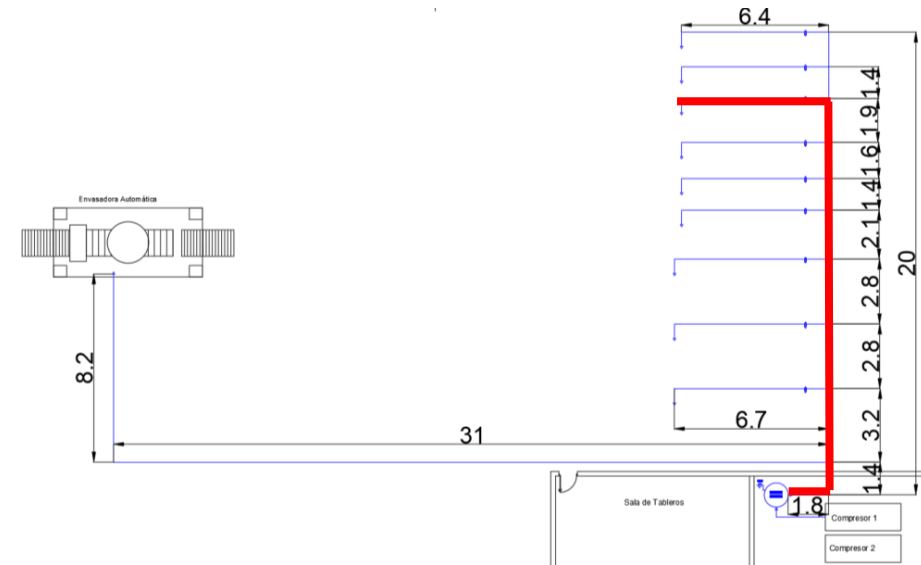


Imagen 75 - Layout verificación 9 de cañería de aire comprimido

| Transair Flow Calculator            |                          | Resultados del proyecto                  |                        |
|-------------------------------------|--------------------------|--|------------------------|
| Nombre del proyecto                 | Planta de pinturas       | Dimensionamiento                         |                        |
| Contacto del cliente                | Facultad Regional Paraná | Diámetro Transair®                       | 16.5 mm                |
| Fecha                               | 20/01/2024               | Caudal máximo Transair®                  | 55 Nm <sup>3</sup> /hr |
| <b>Datos del proyecto</b>           |                          | Velocidad del gas                        | 0.3 m/s                |
| Gas                                 | Aire comprimido          | <b>Pérdida de carga</b>                  |                        |
| Presión                             | 8 bar(g)                 | Tubo de aluminio Transair®               | 0,00 bar(g)            |
| Caudal                              | 1.26 Nm <sup>3</sup> /hr | Tubo de acero nuevo                      | 0,00 bar(g)            |
| Longitud                            | 26 m                     | Tubo de acero oxidado                    | 0,00 bar(g)            |
| Pérdida de carga máxima             | 0.4 bar(g) o 5 %         | <a href="#">Solicitud de presupuesto</a> |                        |
| Red                                 | Línea recta              |  |                        |
| Gama Transair                       | Aluminio                 |  |                        |
| <a href="#">Tamaño del diámetro</a> |                          |  |                        |

Imagen 76 - Resultados software transair tramo 9 de cañería

Diámetro: 16.5 [mm]

Perdida de carga: 0.00 [bar]

Velocidad: 0.3 [m/s]

- Tramo de cañería a la octava bomba.
- Caudal  $0.84 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  y 27 metros de longitud de cañería.

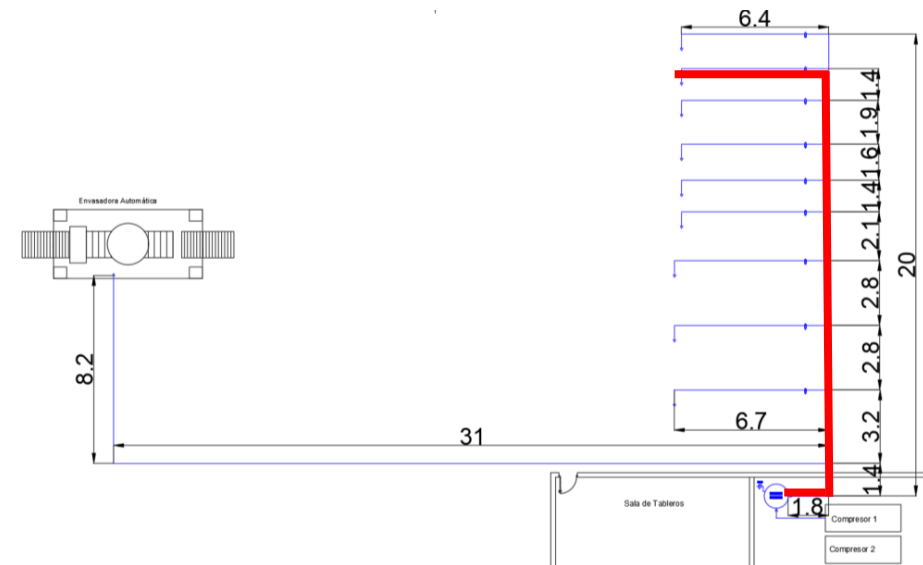


Imagen 77 - Layout verificación 10 de cañería de aire comprimido

**Transair Flow Calculator**

Nombre del proyecto:

Contacto del cliente:

Fecha:

**Datos del proyecto**

Gas:

Presión:  bar(g)

Caudal:  Nm<sup>3</sup>/hr

Longitud:  m

Pérdida de carga máxima:  bar(g) o  %

Red:

Gama Transair:

**Resultados del proyecto**

**Dimensionamiento**

Diámetro Transair:  mm

Caudal máximo Transair:  Nm<sup>3</sup>/hr

Velocidad del gas:  m/s

**Pérdida de carga**

Tubo de aluminio Transair:  bar(g)

Tubo de acero nuevo:  bar(g)

Tubo de acero oxidado:  bar(g)

Imagen 78 - Resultados software transair tramo 10 de cañería

Diámetro: 16.5 [mm]

Perdida de carga: 0.00 [bar]

Velocidad: 0.2 [m/s]

- Tramo de cañería a la bomba más alejada.
- Caudal  $0.42 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  y 29 metros de longitud de cañería.

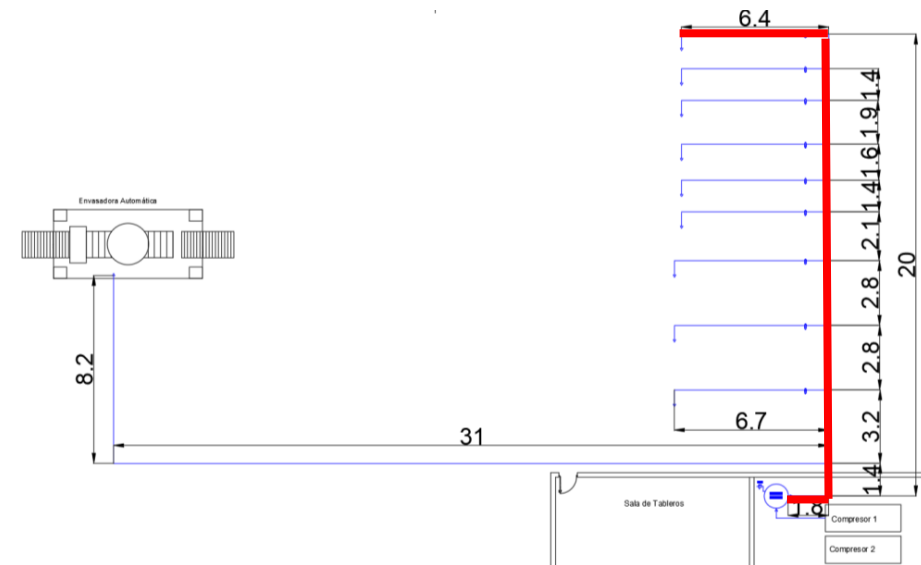


Imagen 79 - Layout verificación 11 de cañería de aire comprimido

Imagen 80 - Resultados software transair tramo 11 de cañería

Diámetro: 16.5 [mm]

Perdida de carga: 0.00 [bar]

Velocidad: 0.1 [m/s]

Se puede observar que el tramo inicial se debe aumentar a 25 [mm] porque sería ilógico que la salida que deriva a todas las líneas tenga un diámetro menor que uno de sus ramales. Podemos observar que las pérdidas de cargas para ningún caso son mayores al 5%, ni siquiera, si sumamos todas se llega a ese valor de 0.4 [bar], en el caso más desfavorable se posee 0.11 [bar].

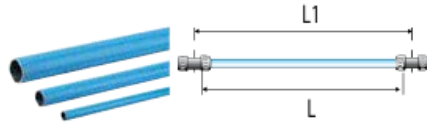
Antes de seleccionar los diámetros de cañería finales, debemos tener en cuenta que pueden existir ampliaciones como así también los diámetros de alimentación a las bombas los cuales son de ½” por esto es por lo que se decide por realizar toda la cañería de 25 [mm].

#### **5.1.6 Cañerías y accesorios**

Para llevar a cabo la instalación neumática utilizaremos los elementos de *Transair* perteneciente a la marca *Parker*, ya que utilizamos el software perteneciente a esta. La ventaja de esta marca es que son de gran calidad, poseen asesoramiento y son sencillos de seleccionar.

Como se determinó en la sección anterior las cañerías a utilizar serán de aluminio en los diámetros de 25 [mm]. La red de distribución está diseñada con una inclinación desde la salida del compresor hasta sus extremos del 1%, esto para permitir por medio de una válvula la purga del condensado.


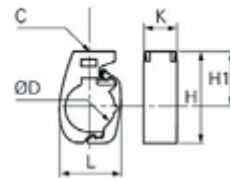
**TUBO AZUL**



| Transair®     | ø ext. | ø int. | L1 (m) | L (m) | Kg    |
|---------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 1003A17 04 00 | 16,5   | 13     | 3      | 2,930 | 0,660 |
| 1004A17 04    | 16,5   | 13     | 4,5    | 4,430 | 0,990 |
| 1003A25 04 00 | 25     | 22     | 3      | 2,903 | 1,040 |
| 1006A25 04 00 | 25     | 22     | 6      | 5,903 | 1,933 |
| 1003A40 04 00 | 40     | 37     | 3      | 2,885 | 1,480 |
| 1006A40 04 00 | 40     | 37     | 6      | 5,885 | 2,860 |

Imagen 81 - Cañerías aire comprimido

Además de la cañería son necesarios distintos accesorios que se describirán a continuación. Para sujetar la cañería se utilizarán clips de fijación, los cuales según el fabricante son recomendables instalar al menos 2 por cada tramo de tubo.

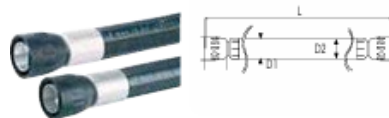



**CLIP DE FIJACIÓN PARA TUBO DE ALUMINIO**

| Transair®  | ØD   | C         | H1 | H  | K  | L  | Kg    |
|------------|------|-----------|----|----|----|----|-------|
| 6697 17 00 | 16,5 | M8 x 1,25 | 46 | 61 | 30 | 33 | 0,027 |
| 6697 25 00 | 25   | M8 x 1,25 | 46 | 67 | 30 | 38 | 0,030 |
| 6697 40 00 | 40   | M8 x 1,25 | 46 | 74 | 30 | 50 | 0,035 |

Imagen 82 - Clip de fijación cañería de aire comprimido

La salida del compresor se realizará con tuberías flexibles ya que estas permiten absorber las vibraciones de este.



| Transair®     | Para línea Transair® | D1 | D2 | L (m) | Radio de curvatura mini (mm) | Kg    |
|---------------|----------------------|----|----|-------|------------------------------|-------|
| 1001E25 00 01 | 25                   | 38 | 25 | 0,570 | 100                          | 0,794 |
| 1001E25 00 03 | 25                   | 38 | 25 | 1,500 | 100                          | 1,700 |
| 1001E25 00 04 | 25                   | 38 | 25 | 2,000 | 100                          | 2,080 |
| 1001E40 00 02 | 40                   | 54 | 40 | 1,150 | 400                          | 2,200 |
| 1001E40 00 04 | 40                   | 54 | 40 | 2,000 | 400                          | 3,380 |
| 1001E40 00 05 | 40                   | 54 | 40 | 3,000 | 400                          | 4,000 |

Imagen 83 - Cañerías flexibles aire comprimido

A la hora de ensamblar las cañerías se utilizarán uniones dobles, cados, te y reducciones estas permiten un fácil y rápido armado.



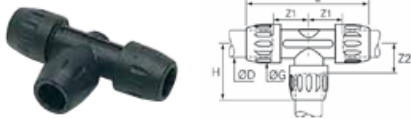
**UNIÓN DOBLE IGUAL**

| Transair®  | ØD   | ØG   | L     | Z  | Kg    |
|------------|------|------|-------|----|-------|
| 6606 17 00 | 16,5 | 34   | 120,5 | 35 | 0,065 |
| 6606 25 00 | 25   | 44,5 | 151,5 | 48 | 0,130 |
| 6606 40 00 | 40   | 67   | 205   | 57 | 0,395 |



**CODO A 90°**

| Transair®  | ØD   | ØG   | L    | Z  | Kg    |
|------------|------|------|------|----|-------|
| 6602 17 00 | 16,5 | 34   | 58   | 31 | 0,065 |
| 6602 25 00 | 25   | 44,5 | 69,5 | 40 | 0,120 |
| 6602 40 00 | 40   | 67   | 103  | 62 | 0,410 |



**TÉ IGUAL**

| Transair®  | ØD   | G    | H   | L     | Z1 | Z2 | Kg    |
|------------|------|------|-----|-------|----|----|-------|
| 6604 17 00 | 16,5 | 34   | 58  | 120,5 | 34 | 31 | 0,100 |
| 6604 25 00 | 25   | 44,5 | 67  | 151   | 48 | 40 | 0,185 |
| 6604 40 00 | 40   | 67   | 102 | 205   | 57 | 57 | 0,590 |

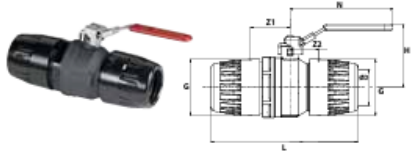


**REDUCCIÓN EN LÍNEA**

| Transair®  | ØD1 | ØD2  | ØG   | Z  | L     | Kg    |
|------------|-----|------|------|----|-------|-------|
| 6666 17 25 | 25  | 16,5 | 34   | 51 | 77    | 0,052 |
| 6666 25 40 | 40  | 25   | 44,5 | 71 | 100,5 | 0,126 |

Imagen 84 - Accesorios para cañería aire comprimido

Se instalarán también a lo largo de la red, válvulas que nos permitan cortar el suministro de aire hacia algún sector en específico.



**VÁLVULA DOBLE IGUAL**

| Transair®   | ØD   | ØG | L   | N   | H   | Z1 | Z2 | Kg    |
|-------------|------|----|-----|-----|-----|----|----|-------|
| 4092 17 00  | 16,5 | 34 | 123 | 96  | 51  | 29 | 43 | 0,330 |
| 4092 25 00  | 25   | 44 | 155 | 117 | 73  | 41 | 57 | 0,895 |
| 4092 40 00* | 40   | 67 | 205 | 141 | 76  | 57 | 58 | 1,735 |
| 4092 50 00* | 50   | 80 | 224 | 156 | 90  | 43 | 60 | 1,690 |
| 4092 63 00* | 63   | 91 | 269 | 200 | 109 | 66 | 77 | 2,605 |

Imagen 85 - válvulas aire comprimido

Para realizar las bajadas se utilizarán bridas de derivación, estas poseen integrado un cuello de cisne el cual permiten obtener aire manteniendo el agua en la red, también tiene la ventaja de poder instalarse sin tener que cortar el tubo.

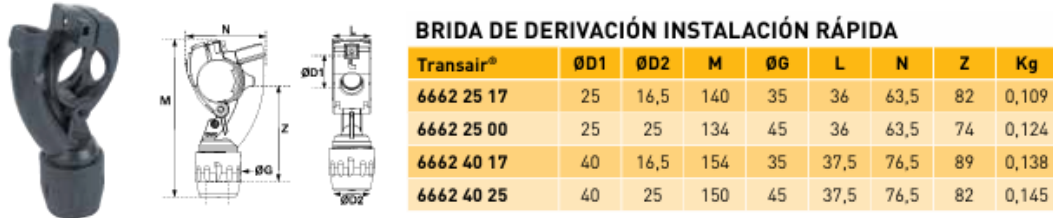


Imagen 86 - Cuello de cisne aire comprimido

La calidad del aire comprimido es muy importante a la hora de hacer funcionar un equipo, por esto se instalarán filtros que permitan suministrar aire limpio a una presión constante y lubricar en caso de ser necesario.



Imagen 87 - Filtro para aire comprimido

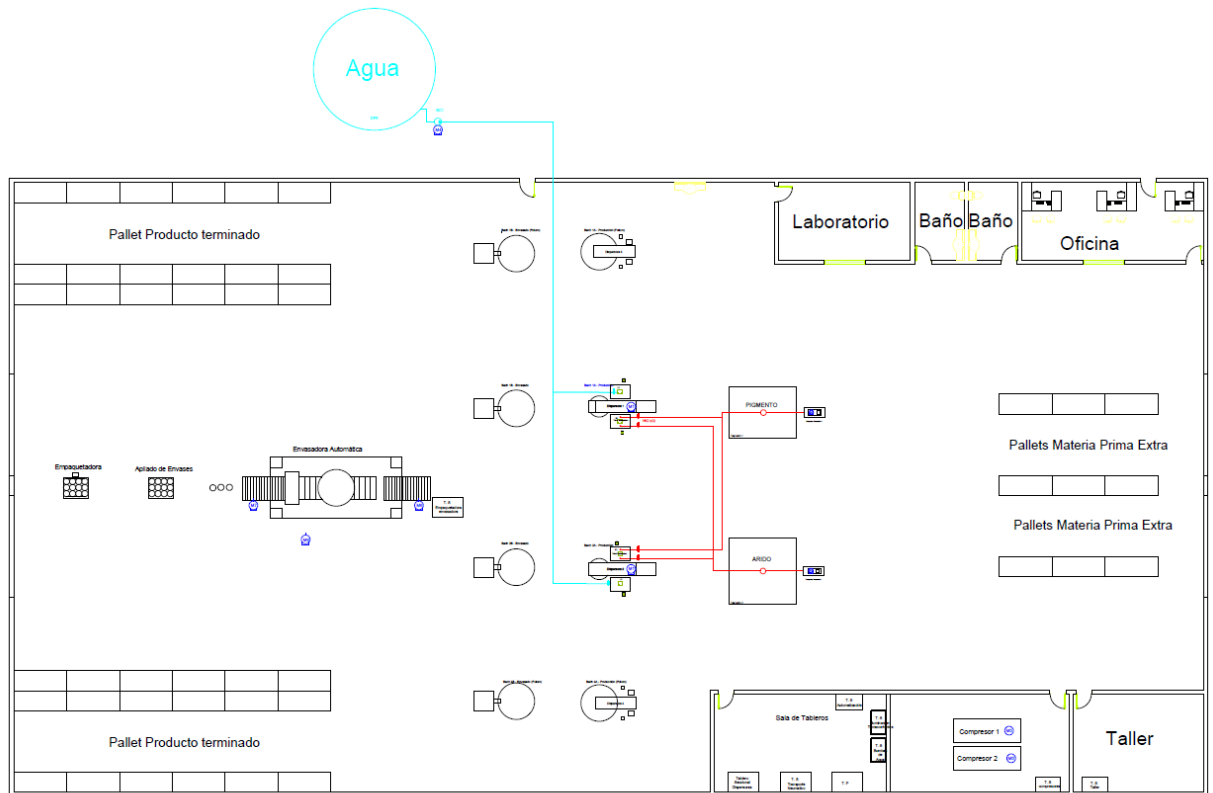
Además de todo esto, dentro de la sala de compresores debo agregar un filtro de partículas y un filtro coalescente, esto nos permitirá obtener una mejor calidad de aire para así prolongar la vida útil de las máquinas y herramientas.

Con el conjunto de todos estos accesorios se construye la instalación neumática de la planta, desde la salida del compresor hasta cada uno de los puntos de consumo.

## 5.2 Instalación eléctrica

### 5.2.1 Relevamiento y selección de equipos

Se realiza el layout de planta que involucra las instalaciones eléctricas. En este layout se puede ver el circuito de agua y circuitos de transporte neumático, ya que el resto de los circuitos y cañerías involucran equipos solamente neumáticos.



*Imagen 88 - Layout planta industrial para instalación eléctrica*

### Referencias de planta

- Líneas Celestes: Cañería de agua
- Líneas Rojas: Cañerías de transporte neumático
- círculos Azules: Motores eléctricos de inducción

Se identificaron los motores de los equipos, indicando su potencia, corriente nominal y factor de potencia ( $\cos(\varphi)$ ).

| Referencia | P[KW] | I[A] | FP   | Referencia                  |
|------------|-------|------|------|-----------------------------|
| M1         | 15    | 30.7 | 0.83 | Dispersora 1                |
| M1'        | 15    | 30.7 | 0.83 | Dispersora 2                |
| M2         | 22    | 43.9 | 0.84 | Transporte neumático 1      |
| M3         | 15    | 30.7 | 0.83 | Transporte neumático 2      |
| M4         | 5.5   | 11.2 | 0.83 | Bomba centrifuga agua       |
| M5         | 7.5   | 15.4 | 0.85 | Motor compresor 1           |
| M5'        | 7.5   | 15.4 | 0.85 | Motor compresor 2           |
| M6         | 0.37  | 1.88 | 0.78 | Entrada envasadora          |
| M7         | 1.1   | 4.91 | 0.78 | Salida envasadora           |
| M8         | 5.5   | 11.2 | 0.83 | Sobrealimentador envasadora |
| M9         | 1.1   | 4.91 | 0.78 | Bomba centrifuga            |

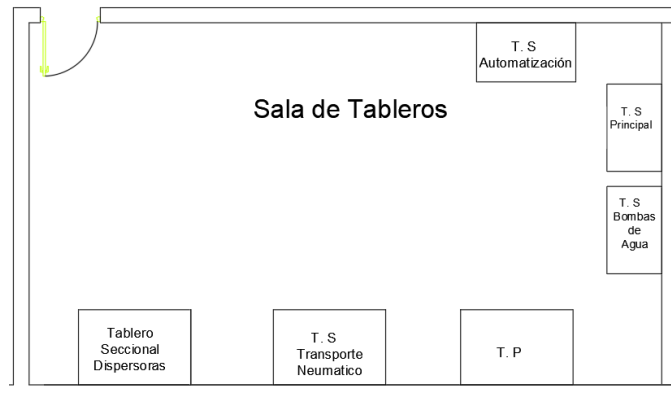
Tabla 22 - Relevamiento de cargas

En un archivo Excel realizamos la suma de todas las corrientes y potencias de estos motores:

- $P_{total} = 95.57 [kW]$
- $I_{total} = 200.90 [A]$

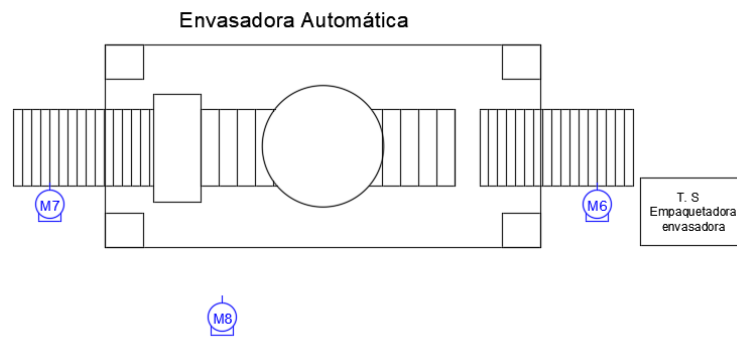
Sin embargo, aún se debe tener en cuenta las cargas producidas por iluminación y tomacorrientes, las cuales se consideran más adelante.

Planteamos los siguientes tableros ubicados en una sala de tableros:



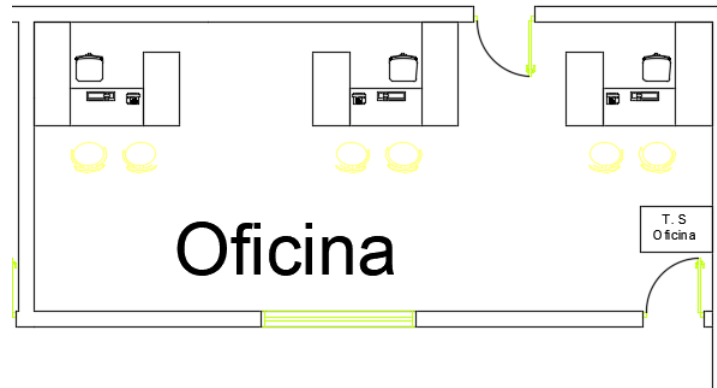
*Imagen 89 - Disposición de tableros*

Además, hay dos tableros seccionales ubicados en otros sectores. Dentro del sector de producción se ubicará un tablero inmediato a la maquina envasadora para facilitar la operación del equipo.



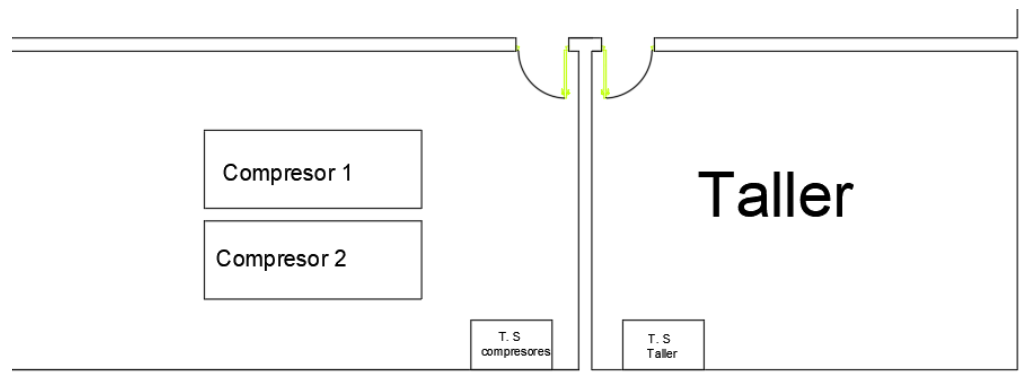
*Imagen 90 - Envasadora automática*

Se pensó además en la ubicación de tableros seccionales para sectorizar la fábrica, uno se ubicará en la oficina derivando a los circuitos de esta y del laboratorio y baños que se encuentran aledaños.



*Imagen 91 - Disposición de Oficina*

Otros dos tableros se ubicarán en el taller y sala de compresores:



*Imagen 92 - Disposición de tableros*

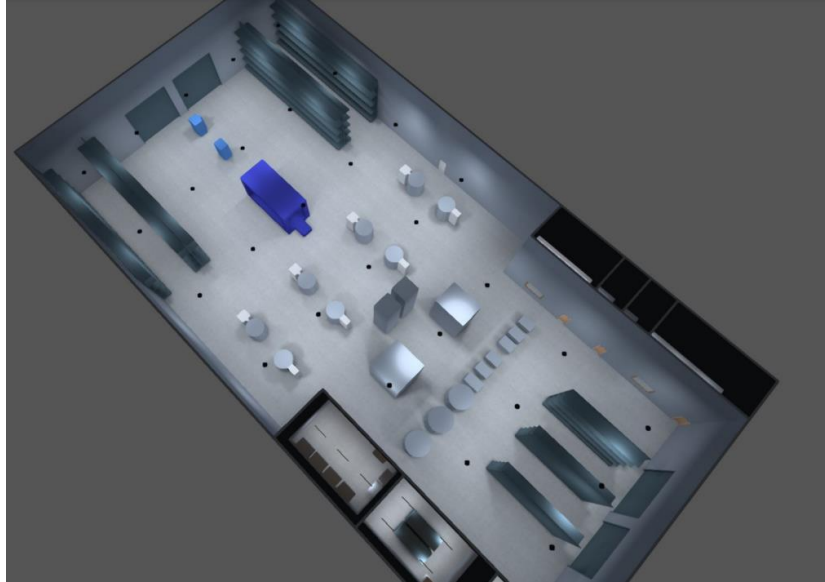
Las cargas de estos tableros se indican en la siguiente tabla:

| <b>Tableros seccionales</b> | <b>Carga</b>                           | <b>Corriente total [A]</b> | <b>FP (promedio)</b> | <b>Observación</b>                            |
|-----------------------------|--|----------------------------|----------------------|---|
| T.S Dispensoras             | Motor 1                                | 61,4                       | 0,83                 |   |
|                             | Motor 1'                               |                            |                      |   |
| T.S Transporte Neumático    | Motor 2                                | 74,6                       | 0,83                 |   |
|                             | Motor 3                                |                            |                      |   |
| T.S Bombas de Agua          | Motor 4                                | 16,11                      | 0,8                  |   |
|                             | Motor 9                                |                            |                      |   |
| T.S Compresores             | Motor 5                                | 30,8                       | 0,85                 |   |
|                             | Motor 5'                               |                            |                      |   |
| T.S Envasadora              | Motor 6                                | 17,99                      | 0,8                  |   |
|                             | Motor 7                                |                            |                      |   |
|                             | Motor 8                                |                            |                      |   |
| T.S Principal               | Iluminación y tomas de toda la fabrica | 30                         |                      | Se estima una carga máxima de 20 KW trifásica |
| T.S Taller                  | Herramienta de taller                  | 10                         |                      | Se estima una carga de 6 KW trifásica         |
| T.S Oficina                 | Iluminación y tomas                    | 10                         |                      | Se estima una carga de 6 KW trifásica         |
| <b>Total</b>                | <b>94,57</b>                           | <b>250,9</b>               |                      |   |

*Tabla 23 - Cargas en tableros seccionales*

### 5.2.2 Iluminación

Para el diseño y cálculo de iluminación utilizamos el software Dialux Evo. Como primer paso se diseña la planta completa con los obstáculos visuales en el programa.



*Imagen 93 - Diseño de planta 3D software Dialux*

Se lleva a cabo el cálculo de luminarias en cada uno de los distintos sectores y se utiliza la siguiente tabla de la normativa IRAM [5] para especificar los valores de intensidad necesaria.

| Intensidad Media de Iluminación para Diversas Clases de Tarea Visual<br>(Basada en Norma IRAM-AADL J 20-06) |   |   |
|---|---|---|
| Clase de tarea visual   | Iluminación sobre el plano de trabajo (lux) | Ejemplos de tareas visuales   |
| Visión ocasional solamente  | 100   | Para permitir movimientos seguros por ej. en lugares de poco tránsito: Sala de calderas, depósito de materiales voluminosos y otros.  |
| Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes.  | 100 a 300                                   | Trabajos simples, intermitentes y mecánicos, inspección general y contado de partes de stock, colocación de maquinaria pesada.        |
| Tarea moderadamente crítica y prolongadas, con detalles medianos  | 300 a 750                                   | Trabajos medianos, mecánicos y manuales, inspección y montaje; trabajos comunes de oficina, tales como: lectura, escritura y archivo. |

*Tabla 24 - Tabla 1 Anexo Norma IRAM [5]*

Para el sector producción de pintura elegimos 300 [Lux], ya que consideramos que se trata de trabajos simples, intermitentes y de inspección. Cabe aclarar que el proceso de producción es automatizado. Las actividades manuales implican carga y descarga de materias primas y productos terminados. Este mismo valor de iluminación se utiliza en el taller y en la oficina.

En el Sector laboratorio si se necesita una mayor intensidad, por lo tanto, se utilizarán 1000 [Lux], según se especifica en la norma IRAM [5] para el rubro químico.

En la Sala de tableros y compresores es suficiente con una iluminación de 200 [Lux], ya que no son áreas muy concurridas, sin embargo, son importantes para la inspección del proceso de producción.



Por último, en los baños con 100 [Lux] es suficiente.

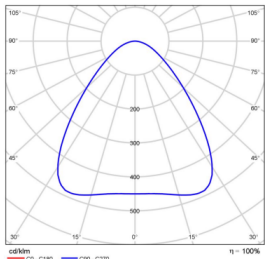
### 5.2.2.1 Elección de iluminaria

Se utilizarán 2 tipos de luminarias para toda la fábrica. En el sector de producción se utilizará 36 luminarias de 146 [W] del siguiente modelo de Philips:

**Ficha de producto**

Philips - BY121P G4 PSD 1 xLED200S/865 WB



CDL polar

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| P                         | 146.0 W    |
| $\Phi_{\text{lámpara}}$   | 20000 lm   |
| $\Phi_{\text{luminaria}}$ | 20000 lm   |
| $\eta$                    | 100.00 %   |
| Rendimiento luminico      | 137.0 lm/W |
| CCT                       | 6500 K     |
| CRI                       | 80         |

*Imagen 94 - Ficha del producto de Iluminación*

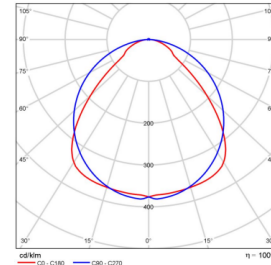
Para los demás sectores, de la planta se utilizarán fluorescentes Led de 40 [W] del mismo fabricante.

#### Ficha de producto

Philips - BN126C L1500 1 xLED48S/830



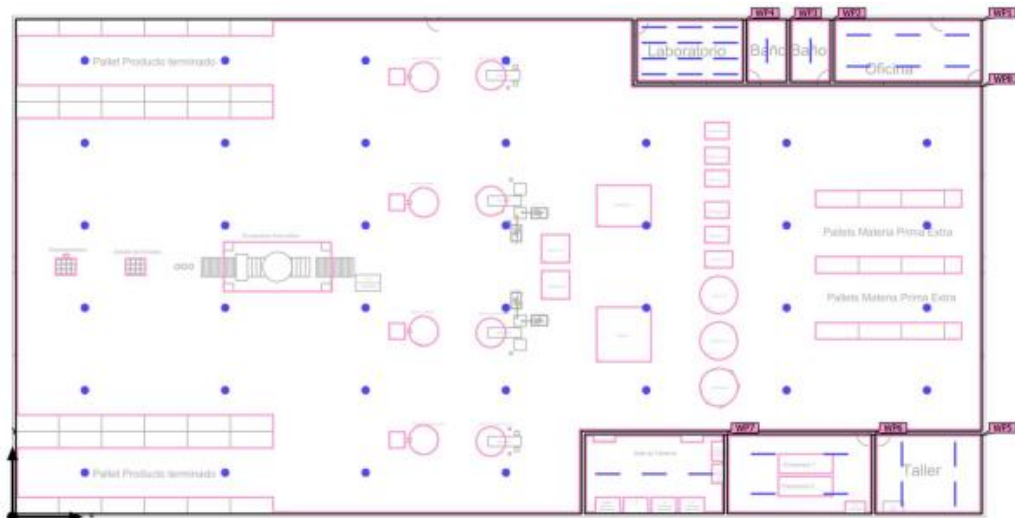
|                           |            |
|---------------------------|------------|
| P                         | 40.0 W     |
| $\Phi_{\text{lámpara}}$   | 4300 lm    |
| $\Phi_{\text{luminaria}}$ | 4300 lm    |
| $\eta$                    | 100.00 %   |
| Rendimiento lumínico      | 107.5 lm/W |
| CCT                       | 3000 K     |
| CRI                       | 80         |



CDL polar

*Imagen 95 - Ficha del producto de iluminación II*

Mediante la utilización del software se realiza la disposición automática de las luminarias para satisfacer los valores de iluminación mínima nombrados anteriormente. Comenzamos con el sector producción. La distribución de las 36 luminarias es la siguiente:



*Imagen 96 - Layout distribución de luminarias*

Se verifican los valores de iluminación solicitados con la siguiente imagen. Podemos ver que se supera los valores de 300 [Lux] en los sectores más importantes cerca de las dispersoras, mientras que en lugares no muy concurridos como la zona de depósitos los valores son inferiores.

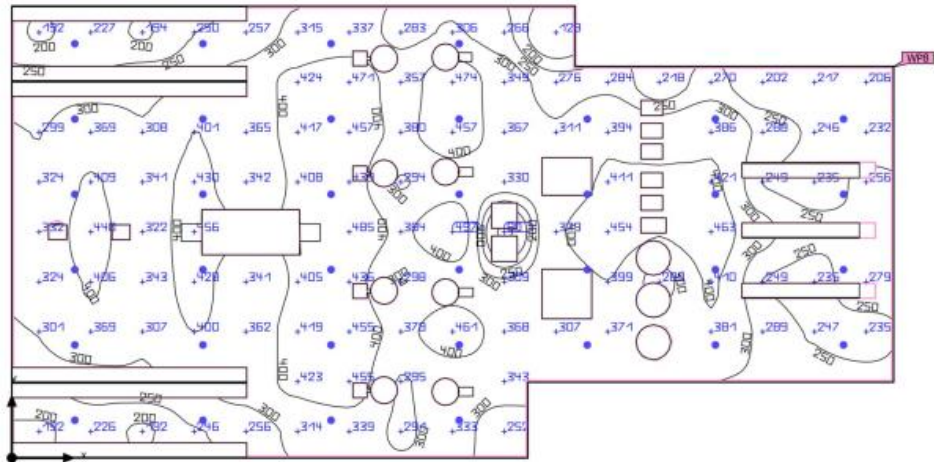


Imagen 97 - Datos fotométricos en la zona de producción

Realizamos lo mismo en los baños 1 y 2. En estos casos con una luminaria ubicada en el centro es suficiente para alcanzar los 100 [Lux].

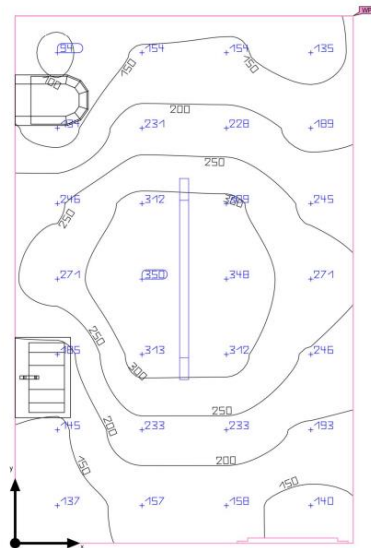


Imagen 98 - Datos fotométricos en la zona de Baños

Para el laboratorio es necesario 12 luminarias distribuidas de la siguiente manera para cumplir con los 1000 Lux necesarios por normativa IRAM [5].

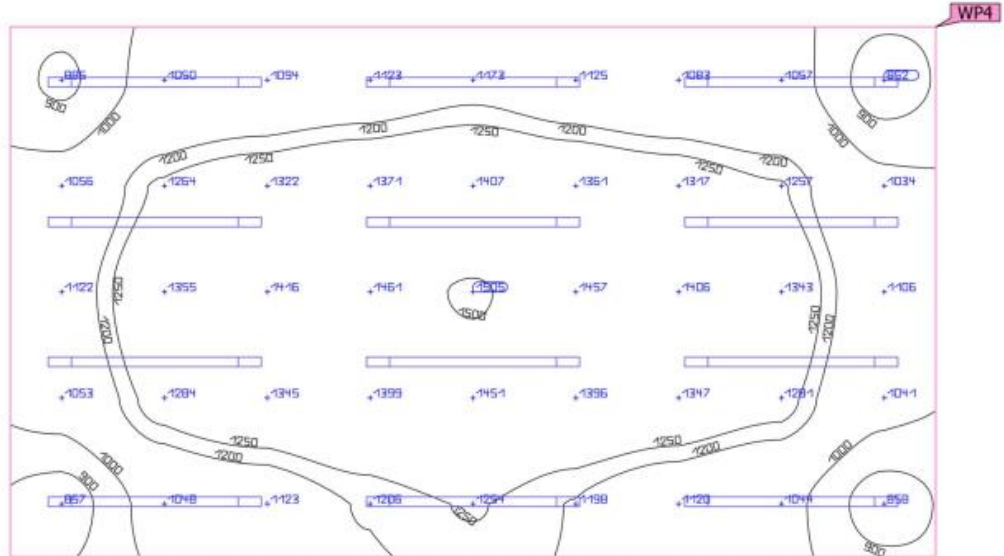


Imagen 99 - Datos fotométricos en la zona de Laboratorio

Para la oficina se necesitan 6 luminarias distribuidas de la siguiente manera para tener 500 Lux.

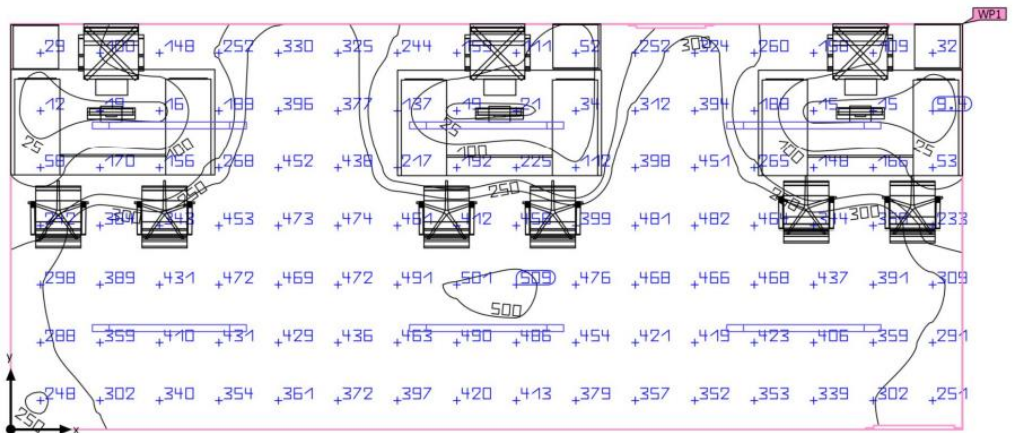


Imagen 100 - Datos fotométricos en la zona de Oficina



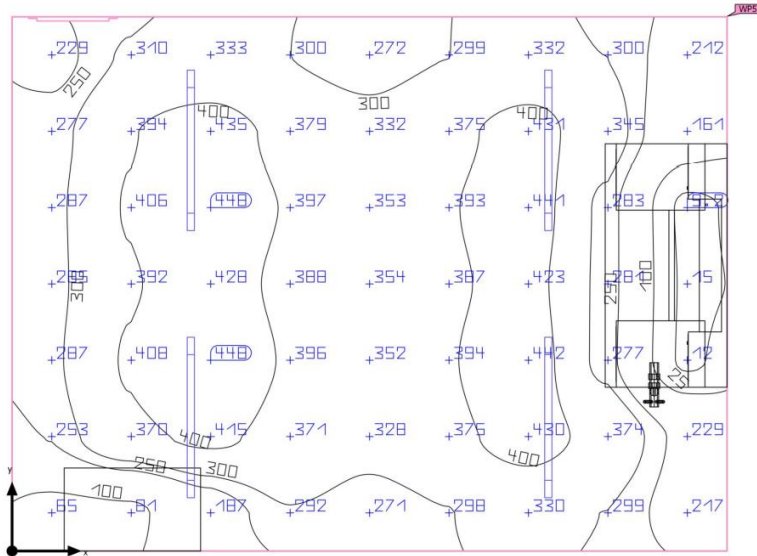


Imagen 103 - Datos fotométricos en la zona de Taller

A modo de resumen se muestra la siguiente tabla con todos los resultados de los sectores

Planos útiles

| Propiedades  | E (Nominal)                 | E <sub>min</sub> | E <sub>max</sub> | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Índice |
|--|-----------------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|--------|
| Plano útil (Oficina)<br>Iluminancia perpendicular<br>Altura: 0.500 m, Zona marginal: 0.100 m             | 311 lx<br>(≥ 300 lx)<br>✓   | 12.4 lx          | 509 lx           | 0.040          | 0.024          | WP1    |
| Plano útil (Baño 1)<br>Iluminancia perpendicular<br>Altura: 0.500 m, Zona marginal: 0.100 m              | 230 lx<br>(≥ 100 lx)<br>✓   | 98.5 lx          | 348 lx           | 0.43           | 0.28           | WP2    |
| Plano útil (Baño 2)<br>Iluminancia perpendicular<br>Altura: 0.500 m, Zona marginal: 0.100 m              | 181 lx<br>(≥ 100 lx)<br>✓   | 91.8 lx          | 245 lx           | 0.51           | 0.37           | WP3    |
| Plano útil (Laboratorio)<br>Iluminancia perpendicular<br>Altura: 0.500 m, Zona marginal: 0.100 m         | 1207 lx<br>(≥ 1000 lx)<br>✓ | 852 lx           | 1505 lx          | 0.71           | 0.57           | WP4    |
| Plano útil (Taller)<br>Iluminancia perpendicular<br>Altura: 0.500 m, Zona marginal: 0.100 m              | 325 lx<br>(≥ 300 lx)<br>✓   | 11.1 lx          | 445 lx           | 0.034          | 0.025          | WP5    |
| Plano útil (Sala de Compresores)<br>Iluminancia perpendicular<br>Altura: 0.500 m, Zona marginal: 0.100 m | 284 lx<br>(≥ 200 lx)<br>✓   | 3.18 lx          | 583 lx           | 0.011          | 0.005          | WP6    |
| Plano útil (Sala de tabero)<br>Iluminancia perpendicular<br>Altura: 0.500 m, Zona marginal: 0.100 m      | 261 lx<br>(≥ 200 lx)<br>✓   | 90.8 lx          | 430 lx           | 0.35           | 0.21           | WP7    |
| Plano útil (Sala de fabricacion)<br>Iluminancia perpendicular<br>Altura: 1.000 m, Zona marginal: 0.100 m | 333 lx<br>(≥ 300 lx)<br>✓   | 79.8 lx          | 497 lx           | 0.24           | 0.16           | WP8    |

Tabla 25 - Resumen de cálculos de iluminación

Vemos que en el único lugar que no verifica correctamente es la sala de fabricación, sin embargo, esto se debe a que es un sector con mucha sombra, principalmente en los pallets de producto terminado, pero esto no justifica la colocación de más luminarias ya que es un sector que no necesita tanta iluminación.

### **5.2.3 Conductores**

A la hora de seleccionar y verificar los conductores se tendrán en cuenta los métodos de caída de tensión y corriente nominal. Se corroborará que la corriente a la cual funciona el equipo no supere la corriente admisible del conductor y también, en los casos que se crea necesario, se verificara si las secciones adoptadas no sobrepasan las caídas de tensión admitidas (3% para iluminación y 5% para motores y tomacorrientes).

Por otra parte, los montajes de dichos conductores se realizarán por medio de bandejas y cañerías. Para las bandejas se utilizará el criterio de la AEA 90364 [6] que ese encuentra en la sección 771.12.3.9.2 la cual dice que se dimensionan sumando los diámetros externos de todos los conductores, más los espacios de separación entre ellos según el criterio de cálculo adoptado para la corriente admisible, más un espacio de reserva no inferior al 20 %, no permitiéndose más que una capa de cables por bandeja. Para las cañerías tendremos en cuenta que el porcentaje de ocupación no supere el 50%.

Finalmente comenzamos con los cálculos, selección y verificación de los conductores, separando dos tipos, los de iluminación, que están compuesto por las cargas provenientes de los artefactos de iluminación y los de potencia que están compuesto por las cargas de los motores y tomacorrientes.

### **Acometida y circuitos principales**

El diseño de la instalación eléctrica se lleva a cabo aguas abajo del pilar. El transformador y la acometida aérea es propiedad de la Distribuidora Eléctrica, la Distribuidor ENERSA.

Desde el pilar nos dirigimos con un cable subterráneo de energía hacia el tablero principal, ubicado en la sala de tableros de la empresa. Desde el tablero principal se alimentará a los demás tableros seccionales.

### **Conductor desde el pilar hasta el tablero principal**

El conductor irá tendido de manera subterránea a una profundidad de 0,7 metros, tal y como indica la normativa de la AEA. Los conductores que se emplearan son multipolares de energía con envoltura PVC como está estipulado por norma IRAM 2178. Para seleccionar los conductores primero se seleccionarán por corriente nominal y luego se verificarán por caída de tensión.

Carga máxima en la empresa: la carga máxima de la empresa con la potencia proyectada actual es de 251 [A] (130[KW]) si consideramos toda la fábrica, sin embargo, se piensa en una futura ampliación de producción, sumando al menos dos máquinas dispersoras, un compresor y algunas bombas centrifugas. Por lo tanto, consideramos un aumento de potencia futuro de al menos 40%.

El factor de simultaneidad de la fábrica no supera el 50%, sin embargo, se considera 0,6% para resguardarnos.

Además, desde la empresa nos comentan que tienen pensando aumentar la producción en un futuro próximo, lo cual generaría aproximadamente un aumento de carga de 40%.

Si bien hay otras cargas además de los motores, como iluminación y tomacorrientes, estas cargas son despreciables comparadas con las de los motores, por lo tanto, no las consideraremos por ahora. Según estas suposiciones, la instalación debe estar preparada para soportar un total de:

$$I_{max} = 251 [A] * 0,6 * 1,4 = 211 [A]$$

La sección nominal la elegimos según la siguiente tabla de la normativa AEA 90364

|         | Método D2<br>Directamente enterrado<br>Aislación PVC / Termoplástico | Método D2<br>Enterrado<br>Aislación PVC / Termoplástico | Método D2<br>Directamente enterrado<br>Aislación PVC / Termoplástico | Método D2<br>Directamente enterrado<br>Aislación PVC / Termoplástico | Método D2<br>Directamente enterrado<br>Aislación PVC / Termoplástico |
|---------|--|---|--|--|--|
|         | IRAM 2178  | IRAM 2178   | IRAM 2178  | IRAM 2178  | IRAM 2178  |
|         | IRAM 62266   | IRAM 62266  | IRAM 62266   | IRAM 62266   | IRAM 62266   |
|         |  |   |  |  |  |
| [ mm² ] |  |   |  |  |  |
| Cobre   | 1x   | 2x  | 2x   | 3x   | 3x   |
| 1,5     | 30   | 29  | 25   | 25   | 20   |
| 2,5     | 39   | 39  | 33   | 34   | 27   |
| 4       | 50   | 51  | 43   | 44   | 35   |
| 6       | 63   | 65  | 53   | 55   | 44   |
| 10      | 84   | 88  | 71   | 74   | 58   |
| 16      | 108  | 112   | 91   | 95   | 75   |
| 25      | 140  | 144   | 117  | 123  | 96   |
| 35      | 168  | 173   | 140  | 147  | 115  |
| 50      | 198  | 207 *   | 166 *  | 173  | 137  |
| 70      | 243  | 254 *   | 205 *  | 211  | 169  |
| 95      | 291  | 306 *   | 242 *  | 254  | 201  |
| 120     | 331  | 350 *   | 276 *  | 290  | 228  |
| 150     | 372  | 393 *   | 312 *  | 325  | 258  |
| 185     | 420  | 445 *   | 350 *  | 369  | 289  |
| 240     | 487  | 519 *   | 405 *  | 428  | 333  |
| 300     | 552  | 587 *   | 457 *  | 484  | 377  |
| 400     | 631  | ---   | ---  | ---  | ---  |
| 500     | 726  | ---   | ---  | ---  | ---  |
| 630     | 823  | ---   | ---  | ---  | ---  |

Tabla 26 - Tabla 771.16.VI AEA 90364 [6]

Según la tabla de la tabla de la imagen 19, se podría usar 1 conductor multipolar de energía de 3x70+35 [mm²] ya que en su mayoría son cargas trifásicas, por lo tanto, la corriente en el neutro es muy inferior a la que circula en las fases.

Conociendo la distancia entre el pilar y el tablero principal (22 [m]) determino la caída de tensión a partir de la siguiente expresión:

$$S = \frac{\sqrt{3} * \rho_{cobre}}{\Delta - \delta_L} * \sum (i * L) * \cos\varphi$$

Donde:

- $\rho$  es la resistividad del cobre igual a  $\frac{1}{57} \left[ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right]$
- $S$  es la sección del conductor
- $\sum(i \cdot L)$  es la sumatoria de momentos eléctricos expresados en [A. m]
- $\cos\varphi$  es el factor de potencia, la cual es 0.9 teniendo en cuenta la corrección de FP.
- $\delta_{L1}$  es la reactancia del conductor calculada como:

$$\delta_{L1} = \sqrt{3} * x' * (i * L) * \sen\varphi$$

$$x' = 0,08 \left[ \frac{ohm}{km} \right] \text{ (reactancia especifica aproximada para cualquier conductor)}$$

$$\cos(\varphi) = 0,9$$

Se considera ese valor de debido a que suponemos la corrección de factor de potencia en los tableros seccionales. Desde este punto en adelante se debe considerar el factor de potencia de cada motor. Entonces:

$$\cos^{-1}(0,9) = 25,84^\circ$$

$$\delta_{L1} = \sqrt{3} * 0,08 \left[ \frac{ohm}{km} \right] (211 [A]) * (0,022 [km]) * \sen(25,84^\circ) = 0,27 [V]$$

Despejando  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{\sqrt{3} * \rho_{cobre}}{S} * \sum (i * L) * \cos\varphi + \delta_{L1} = \frac{\sqrt{3} * \frac{1}{57} \left[ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right]}{70 [mm^2]} * (211 [A] * 22 [m])$$

$$* 0,9 + 0,27 [V] = 1,73 [V]$$

$$\Delta_1 = \frac{1,73 [V]}{380 [V]} = 0,005 = 0,5\%$$

### **Conductor desde el tablero principal a los tableros seccionales**

Se utilizarán conductores multipolares dispuestos en bandejas perforadas para la mayoría de los tendidos, excepto el tablero seccional ubicado en la oficina, las secciones de dichos conductores se seleccionarán a partir de la carga máxima que alimente cada tablero seccional. Al estar la mayoría de los tableros en una misma sala no tendremos en cuenta la caída de tensión, salvo en el tablero seccional ubicado en la oficina y el tablero seccional de la envasadora.

Se debe considerar una futura ampliación para los tableros seccionales “dispersoras” y “transporte neumático”.

A continuación, se muestra la carga que posee cada uno de los tableros seccionales.

- Tablero Seccional Dispersoras: 61,4 [A]
- Tablero Seccional Transporte neumático: 74,6 [A]
- Tablero Seccional Bombas de agua: 16,11 [A]
- Tablero Seccional Compresores: 30,8 [A]
- Tablero Seccional Envasadora: 18 [A]
- Tablero Seccional Principal: 30[A] (carga máxima supuesta entre iluminación y tomacorrientes de toda la fábrica)

- Tablero Seccional Oficina: 10[A] (carga máxima supuesta entre iluminación y tomacorrientes de este sector)
- Tablero Seccional Taller: 10[A] (carga máxima herramientas de taller trabajando en simultaneo).

Los conductores se eligen según el método E (para multipolares y bandeja tipo escalera) y método B2 de la siguiente tabla:

Tabla 771.16.III – Intensidades de corriente admisibles [A] para temperatura ambiente de 40 °C

|                  | Método B2<br>Caño embutido en pared<br>Caño a la vista |  | Método C<br>Bandeja no perforada<br>o de fondo sólido<br>Un cable multipolar o<br>cables unipolares en contacto |  | Método E<br>Bandeja perforada<br>Bandeja tipo escalera<br>Un cable multipolar |  |
|------------------|--|--|---|--|---|--|
|                  | Aislación<br>PVC / LS0H<br>Termoplástico               | Aislación<br>PVC / LS0H<br>Termoplástico | Aislación<br>PVC / LS0H<br>Termoplástico  | Aislación<br>PVC / LS0H<br>Termoplástico | Aislación<br>PVC / LS0H<br>Termoplástico                                      | Aislación<br>PVC / LS0H<br>Termoplástico |
|                  | IRAM<br>2178<br>IRAM<br>62266<br>B2                    | IRAM<br>2178<br>IRAM<br>62266<br>B2      | IRAM<br>2178<br>IRAM<br>62266<br>C  | IRAM<br>2178<br>IRAM<br>62266<br>C       | IRAM<br>2178<br>IRAM<br>62266<br>E  | IRAM<br>2178<br>IRAM<br>62266<br>E       |
|                  |  |  |   |  |   |  |
| [ mm² ]<br>Cobre | 2x   | 3x                                       | 2x o 2x1x   | 3x o 3x1x                                | 2x  | 3x                                       |
| 1,5              | 14   | 13                                       | 17  | 15                                       | 19  | 16                                       |
| 2,5              | 20   | 17                                       | 23  | 21                                       | 26  | 22                                       |
| 4                | 26   | 23                                       | 31  | 28                                       | 35  | 30                                       |
| 6                | 33   | 30                                       | 40  | 36                                       | 44  | 37                                       |
| 10               | 45   | 40                                       | 55  | 50                                       | 61  | 52                                       |
| 16               | 60   | 54                                       | 74  | 66                                       | 82  | 70                                       |
| 25               | 78   | 70                                       | 97  | 84                                       | 104   | 88                                       |
| 35               | 97   | 86                                       | 120   | 104                                      | 129   | 110                                      |
| 50               | 116  | 103                                      | 146   | 125                                      | 157   | 133                                      |
| 70               | 146  | 130                                      | 185   | 160                                      | 202   | 171                                      |
| 95               | 175  | 156                                      | 224   | 194                                      | 245   | 207                                      |
| 120              | 202  | 179                                      | 260   | 225                                      | 285   | 240                                      |
| 150              | 224  | 196                                      | 299   | 260                                      | 330   | 278                                      |
| 185              | 256  | 222                                      | 341   | 297                                      | 378   | 317                                      |
| 240              | 299  | 258                                      | 401   | 351                                      | 447   | 374                                      |
| 300              | 343  | 295                                      | 461   | 404                                      | 516   | 432                                      |

Tabla 27 - Tabla 771.16.III AEA 90364 [6]

Debemos tener en cuenta un factor de agrupamiento, esto es debido a la cantidad de conductores multipolares que se ubiquen en la bandeja

| Item | Disposición de los cables en contacto                           | Número de circuitos o de cables multipolares |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      | Para ser usados con las intensidades admisibles de los siguientes métodos de referencia |                                 |
|------|---|--|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|---|---------------------------------|
|      |   | 1  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 12  | 16   |   | 20                              |
| 1    | Agrupados en aire, sobre una superficie, embutidos o encerrados | 1,00   | 0,80 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,57 | 0,54 | 0,52 | 0,50 | 0,45  | 0,41 | 0,38  | Métodos A1, A2, B1, B2, D1 y D2 |
| 2    | Una sola capa sobre pared, piso o bandeja no perforada          | 1,00   | 0,85 | 0,79 | 0,75 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,71 | 0,70 | No es necesario una mayor reducción para más de nueve circuitos o cables multipolares |      |   |                                 |
| 3    | Una sola capa fijada debajo de cielorraso                       | 0,95   | 0,81 | 0,72 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,63 | 0,62 | 0,61 |   |      |   |                                 |
| 4    | Una sola capa sobre una bandeja perforada horizontal o vertical | 1,00   | 0,88 | 0,82 | 0,77 | 0,75 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,72 |   |      |   |                                 |
| 5    | Una sola capa sobre bandeja tipo escalera o engrapada           | 1,00   | 0,87 | 0,82 | 0,80 | 0,80 | 0,79 | 0,79 | 0,78 | 0,78 |   |      |   |                                 |
|      |   |  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |   |                                 |

Tabla 28 - Factor de corrección AEA 90364 [6]

Para identificar los conductores que se dirigen a cada tablero se muestra la siguiente imagen:

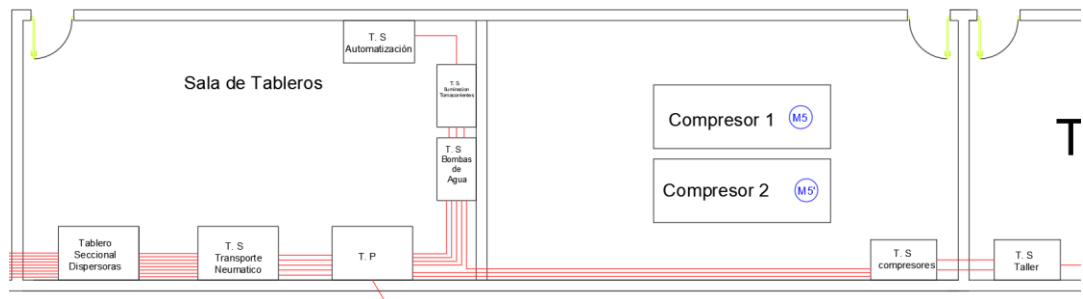


Imagen 104 - Disposición de conductores en bandejas

Se eligen los siguientes conductores:

- Hacia Tablero Seccional Dispensoras - 61,4 [A]

Factor de agrupamiento: 0,78 (ocho circuitos)

Conductor elegido: multipolar 3x25+16 [mm<sup>2</sup>]

Corriente admisible: 88 [A] \* 0,78 = 68,6 [A] (Verifica)

- Hacia Tablero Seccional Transporte neumático - 74,6 [A]

Factor de agrupamiento: 0,80 (cinco circuitos)

Conductor elegido: multipolar 3x35+16 [ $mm^2$ ]

Corriente admisible:  $110 [A] * 0,80 = 88 [A]$  (Verifica)

- Hacia Tablero Bombas de agua - 16,11 [A]

Factor de agrupamiento: 0,80 (cinco circuitos)

Conductor elegido: multipolar 4x4 [ $mm^2$ ]

Corriente admisible:  $30 [A] * 0,80 = 24 [A]$  (Verifica)

- Hacia Tablero Seccional Compresores: 30,8 [A]

Factor de agrupamiento: 0,82 (tres circuitos)

Conductor elegido: multipolar 4x10 [ $mm^2$ ]

Corriente admisible:  $52 [A] * 0,82 = 42,64 [A]$  (Verifica)

- Hacia Tablero Seccional Taller: 10 [A]

Factor de agrupamiento: 0,82 (tres circuitos)

Conductor elegido: multipolar 4x2,5 [ $mm^2$ ]

Corriente admisible:  $21 [A] * 0,82 = 17,22 [A]$  (Verifica)

- Hacia Tablero Seccional Envasadora: 18 [A]

Factor de agrupamiento: 0,78 (nueve circuitos) se considera la condición más desfavorable a pesar de que parte del tramo solo tiene un circuito.

Conductor elegido: multipolar 4x4 [mm<sup>2</sup>]

Corriente admisible: 30 [A] \* 0,78 = 23,4 [A] (Verifica)

Al estar tan alejado el tablero se verifica también la caída de tensión:

- Distancia: 35 metros
- Carga máxima: 18 [A]

$$\delta_{L2} = \sqrt{3} * 0,08 \left[ \frac{\text{ohm}}{\text{km}} \right] (18 \text{ [A]}) * (0,035 \text{ [km]}) * \text{sen}(25,84^\circ) = 0,04 \text{ [V]}$$

Despejando  $\Delta$ :

$$\Delta_2 = \frac{\sqrt{3} * \frac{1}{57} \left[ \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]}{4 \text{ [mm}^2\text{]}} * (18 \text{ [A]}) * 35 \text{ [m]} * 0,9 + 0,04 \text{ [V]} = 4,35 \text{ [V]}$$

$$\Delta_2 = \frac{4,35 \text{ [V]}}{380 \text{ [V]}} = 0,011 = 1,1\%$$

La caída de tensión total es  $\Delta_1 + \Delta_2 = 1,6\%$  menor al 3%, también verifica para este conductor.

- Hacia tablero seccional principal (tablero de iluminación y tomacorrientes)

Factor de agrupamiento: 0,78 (nueve circuitos) se considera la condición más desfavorable a pesar de que parte del tramo solo tiene un circuito.

Conductor elegido: multipolar 4x10 [mm<sup>2</sup>]

Corriente admisible: 52 [A] \* 0,78 = 40,5 [A] (Verifica)

- Distancia: 7 metros
- Carga máxima: 30 [A] (consumo supuesto como suma de luminarias y tomas)

$$\delta_{L3} = \sqrt{3} * 0,08 \left[ \frac{ohm}{km} \right] (30 [A]) * (0,007 [km]) * \text{sen}(25,84^\circ) = 0,013 [V]$$

Despejando  $\Delta$ :

$$\Delta_3 = \frac{\sqrt{3} * \frac{1}{57} \left[ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right]}{10 [mm^2]} * (30 [A] * 7 [m]) * 0,9 + 0,013 [V] = 0,58 [V]$$

$$\Delta_3 = \frac{0,58 [V]}{380 [V]} = 0,0015 = 0,15\%$$

Hasta el tablero seccional la caída de tensión porcentual es 0,25%

- Hacia tablero seccional Oficina (este tablero es alimentado por el tablero seccional principal)
- Distancia: 50 metros
- Carga máxima: 10 [A] (consumo supuesto como suma de luminarias y tomas)

$$\delta_{L4} = \sqrt{3} * 0,08 \left[ \frac{ohm}{km} \right] (10 [A]) * (0,05 [km]) * \text{sen}(25,84^\circ) = 0,03 [V]$$

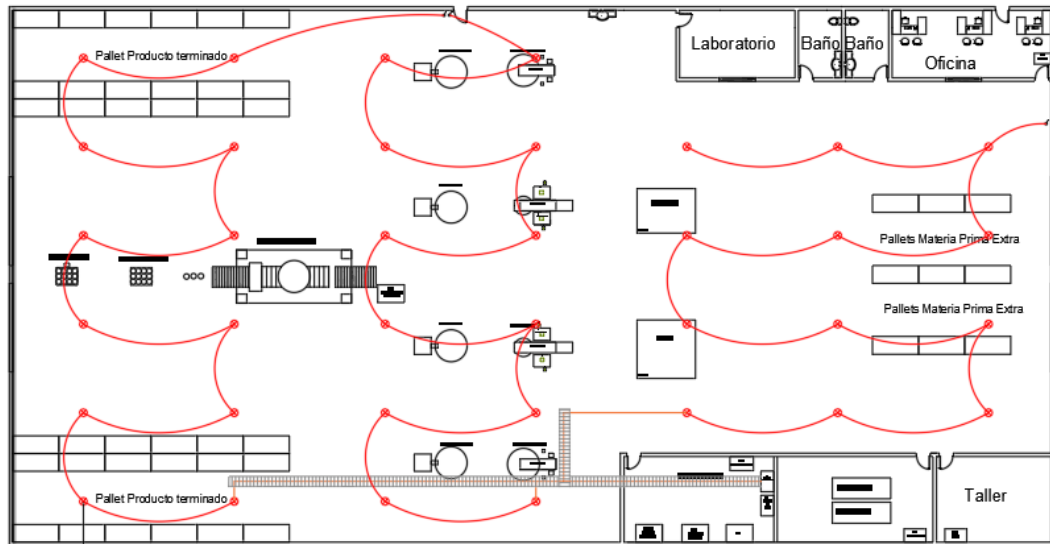
Despejando  $\Delta$ :

$$\Delta_4 = \frac{\sqrt{3} * \frac{1}{57} \left[ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right]}{6 [mm^2]} * (10 [A] * 50 [m]) * 0,9 + 0,03 [V] = 6,87 [V]$$

$$\Delta_4 = \frac{6,87 [V]}{380 [V]} = 0,018 = 1,8\%$$

### Caída de tensión iluminación

En este punto se verifica la distancia más desfavorable de conductores de iluminación, es decir en el sector de producción. Además, las luminarias de este sector son las de mayor potencia, por lo tanto, mayor consumo. Se plantea el cableado del circuito de iluminación:



*Imagen 105 - Layout circuito Iluminación*

Se plantea un circuito de iluminación trifásico, donde se reparten 12 luminarias por fase. Se utilizarán conductores unipolares según normativa IRAM NM-247, los cuales parten desde el tablero de seccionamiento de iluminación (línea marrón) y se dirigen 3 circuitos monofásicos hacia 3 luminarias. Desde cada una de esas 3 luminarias se conectan las otras luminarias para encender a la vez mediante los interruptores ubicados a la entrada de la planta (líneas rojas). La distribución de todos los conductores de iluminación se realizará mediante bandeja perforada de 50 [mm] de ancho.



*Imagen 106 - Bandeja perforada*

La cantidad máxima de circuitos que calculamos por bandeja nunca supera la cantidad máxima de 3 circuitos. Cada circuito contiene 2 conductores unipolares (F+N) y se considera tener en cuenta un cable de tierra que conecte a todos las luminarias.

Para verificar la elección de las bandejas, los conductores de 2,5 [mm<sup>2</sup>] tienen un diámetro de aislación aproximado de 3,6 [mm]. Considerando 3 circuitos y un cable de tierra tenemos 7 conductores. Por lo tanto, un ancho de 25,2 [mm]. Según la normativa AEA la bandeja no debe ocuparse más del 80%.

Realizaremos la verificación de caída de tensión por fase, por lo tanto, corriente máxima por fase es de 12 luminarias juntas de 146 [W], por lo tanto:

$$i_{max} = \frac{Potencia}{220 [V] \cdot Fp \cdot \eta} = \frac{12 * 146 [W]}{220 [V] * 0,9 * 0,8} = 9,21 [A]$$

Seleccionamos conductores unipolares de 2,5 [mm<sup>2</sup>] según la siguiente tabla de AEA:

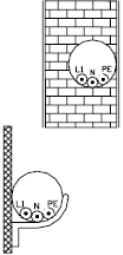

|                          | Termoplástico   |   |
|--------------------------|---|---|
|                          | PVC / LS0H<br>IRAM NM 247-3 /<br>IRAM 62267<br>B52-2 B1                           | PVC / LS0H<br>IRAM NM 247-3 /<br>IRAM 62267<br>B52-4 B1                             |
|                          |  |  |
| Cobre [mm <sup>2</sup> ] | 2x  | 3x  |
| 1,5                      | 15  | 14  |
| 2,5                      | 21  | 18  |
| 4                        | 28  | 25  |
| 6                        | 36  | 32  |
| 10                       | 50  | 44  |

Tabla 29 - Tabla 771.16.I AEA 90364 [6]

Primero verificamos por corriente nominal. Si consideramos un factor de agrupamiento de 3 circuitos (0,82) la corriente que soporta el conductor es de:

$$21 [A] * 0,82 = 17,22 [A]$$

Por lo tanto, verifica por corriente nominal.

Para verificar por caída de tensión consideramos la luminaria más alejada del tablero seccional y del interruptor, en este caso se trata del siguiente punto:

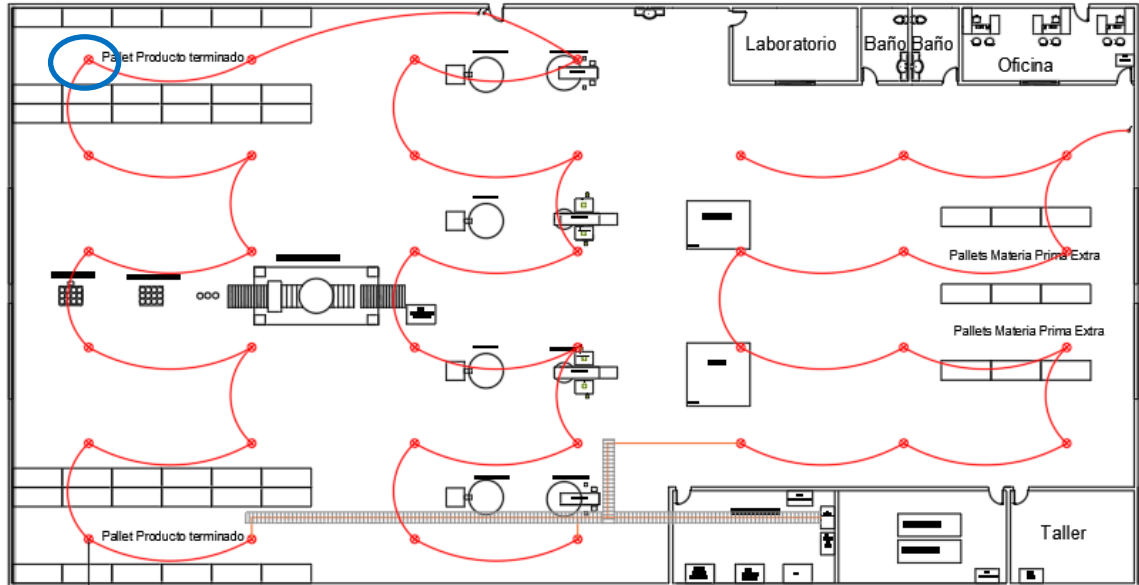


Imagen 107 - Layout iluminación más lejana

Sabiendo que, desde el tablero seccional de iluminación hasta esta luminaria hay un total de 70 [m]. Además de esta distancia consideramos también el tramo hacia el interruptor, el cual es de 21 [m] y si se considera ida y vuelta es de 42 [m]. todas estas medidas se obtienen en AutoCAD.

El total es de 112 [m]. Como todas las luminarias tienen el mismo consumo, se puede hacer factor común de los momentos eléctricos y considerar el total de la distancia.

$$\Delta_{luminaria} = \frac{2 * \frac{1}{57} \left[ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right]}{2,5 [mm^2]} (9,21 [A]) * (112 [m]) = 14,5 [V]$$

Lo que equivale porcentualmente a:

$$\Delta_{luminaria} = \frac{14,5 [V]}{220 [V]} = 0,066 = 6,6\%$$

Vemos que esta caída de tensión supera el 3% admisible, por lo tanto, cambiamos a conductores de 6 [mm<sup>2</sup>]

$$\Delta_{luminaria} = \frac{2 * \frac{1}{57} \left[ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right]}{6[mm^2]} (9,21[A]) * (112[m]) = 6,03[V]$$

La tensión trifásica disponible en el tablero seccional principal es:

$$380[V] - \Delta_1 - \Delta_2 = 380[V] - 1,73 [V] - 0,58 [V] = 378,65[V]$$

Y monofásica:

$$\frac{378,65[V]}{\sqrt{3}} = 218,61[V]$$

$$\Delta_{total\ iluminacion}: 218,61[V] - \Delta_{luminaria} = 218,61[V] - 6,03[V] = 212,58 [V]$$

Esto equivale porcentualmente a:

$$\frac{220[V] - 212,58 [V]}{220[V]} = 0,028[V] = 3,3\%$$

Es un poco superior al 3% la caída de tensión, pero consideramos que de igual manera es satisfactorio debido a que es el caso más desfavorable y que en realidad los drivers de dichas luminarias permiten una caída de tensión superior a ese 3%

### **Caída de tensión tomacorrientes**

Consideramos agregar tomacorrientes en los siguientes lugares:

- Sala de Compresores
- Taller
- Laboratorio
- Oficina
- Tablero seccional Envasadora

Ubicaremos tomacorrientes trifásicos y monofásicos en todos esos sectores, con excepción de la oficina y el baño donde solamente se agregan monofásicos. Para verificar la caída de tensión de los tomacorrientes elegimos los del laboratorio ya que son los de la distancia más desfavorable.

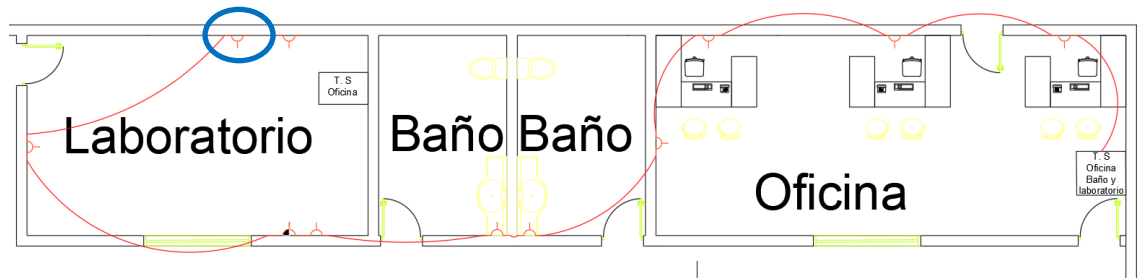


Imagen 108 - Layout Laboratorio, Baños y Oficina

Estos tomacorrientes se alimentan desde el tablero Seccional ubicado en la oficina, que a su vez se alimenta del tablero seccional principal. Hasta este último tablero la tensión trifásica es:

$$380[V] - \Delta_1 - \Delta_3 - \Delta_4 = 380[V] - 1,73 [V] - 0,58 [V] - 6,87 [V] = 370,82[V]$$

Y la tensión monofásica es:

$$\frac{370,82[V]}{\sqrt{3}} = 214,1[V]$$

Ahora calculamos la caída de tensión desde este seccional hasta el tomacorriente más alejado del laboratorio a una distancia de 20 [m]. Se consideran cargas resistivas puras y líneas no inductivas. La sección elegida de conductor es 6 [mm<sup>2</sup>]

$$\Delta_{tomacorriente} = \frac{\sqrt{2} * \frac{1}{57} \left[ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right]}{6 [mm^2]} * (10 [A] * 20 [m]) = 0,82[V]$$

Entonces el voltaje en el tomacorriente es de:

$$V_{tomacorriente} = 214,1[V] - 0,82[V] = 213,3[V]$$

Lo que equivale porcentualmente a:

$$\Delta_{tomacorriente} = \frac{220[V] - 213,3[V]}{220[V]} = 0,03 = 3\%$$

Verifica ya que es menor al 5%

### **Caída de tensión circuito de potencia de motores**

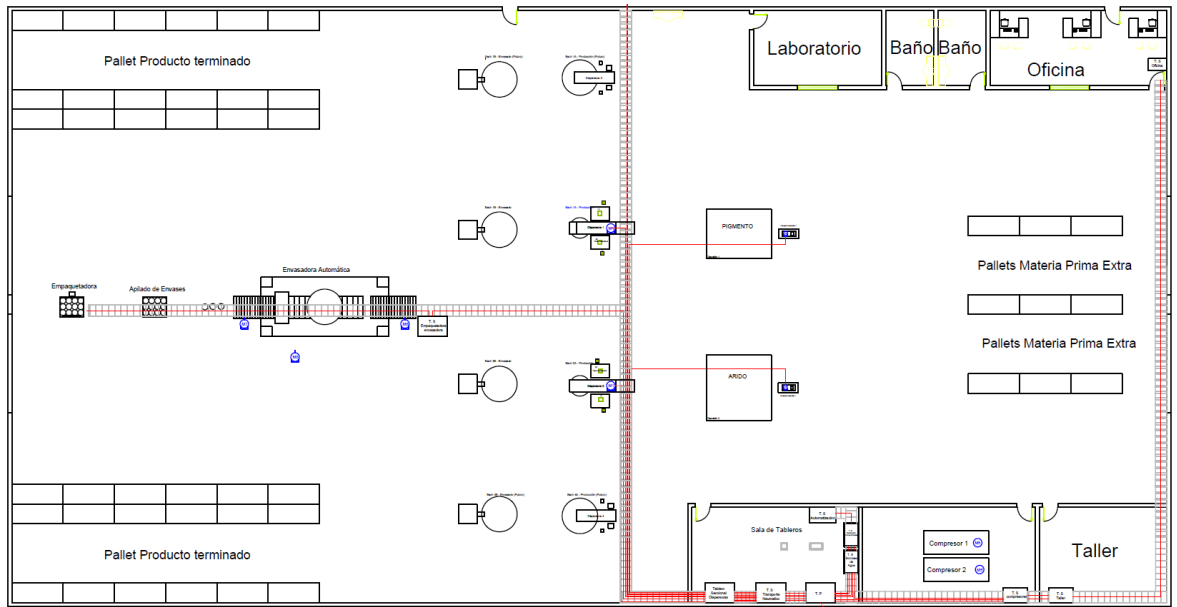
Los tableros seccionales Dispensora, Transporte Neumático, Bombas de Agua, Compresores y empaquetadora envasadora son los que alimentan a los motores.

Se van a utilizar arranques directos para los motores con potencias hasta 5,5[KW], arrancadores suaves para los motores del transporte neumático, cuyas potencias son 22 [KW] Y 15 [KW] y variadores de velocidad para los motores de las dispensoras, ambos con una potencia de 15 [KW]. Se decide utilizar estos tipos de arranque dependiendo tanto de la necesidad de la máquina, como así también por lo económico.

El arranque directo se decidió utilizar en los motores de baja potencia, debido a que los picos de corrientes en estos no afectan de manera significativa, como si lo hacen los motores de más de 7,5 [KW]. Por este motivo se optó para los motores pertenecientes al transporte neumático y a los compresores por la alternativa de los arrancadores suaves.

Finalmente, los motores que se utilizan en la dispensora necesitan modificar su velocidad porque así lo requiere el proceso de fabricación, por lo tanto, la mejor solución es utilizar los variadores de velocidad.

A continuación, se muestra un layout con la disposición de los conductores en color rojo y las bandejas en color gris.



*Imagen 109 - Layout conductores de potencia*

Todos los conductores utilizados son multipolares de energía (3 Fases + tierra) de cobre con envoltura PVC según norma IRAM 2178 y se calculan por corriente nominal, teniendo en cuenta un factor de agrupamiento de 0,78 (el más desfavorable).

Se realizaron los cálculos de caída de tensión correspondientes para cada conductor mediante Excel. Se adjunta la tabla que muestra lo realizado indicando cada conductor con la Letra L y un subíndice que indica al motor que alimenta.

| Conductor   | Carga [A] | Distancia [m] | FP   | Sección por corriente nominal | Carga máxima del conductor | Carga máxima del conductor con fa | Caída de tensión antes del tablero seccional | Caída de tensión después del tablero seccional | Caída de tensión total |
|-------------|-----------|---------------|------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--|--|------------------------|
| L1          | 30,7      | 20            | 0,83 | 10                            | 52                         | 40,56                             | 1,73   | 1,26   | 2,99                   |
| L1'         | 30,7      | 20            | 0,83 | 10                            | 52                         | 40,56                             | 1,73   | 1,26   | 2,99                   |
| L2          | 43,9      | 20            | 0,84 | 16                            | 70                         | 54,60                             | 1,73   | 1,11   | 2,84                   |
| L3          | 30,7      | 25            | 0,83 | 10                            | 52                         | 40,56                             | 1,73   | 1,57   | 3,30                   |
| L4          | 11,2      | 25            | 0,83 | 2,5                           | 22                         | 17,16                             | 1,73   | 2,30   | 4,03                   |
| L5          | 15,4      | 20            | 0,85 | 2,5                           | 22                         | 17,16                             | 1,73   | 2,47   | 4,20                   |
| L5'         | 15,4      | 20            | 0,85 | 2,5                           | 22                         | 17,16                             | 1,73   | 2,47   | 4,20                   |
| L6          | 1,88      | 15            | 0,78 | 2,5                           | 22                         | 17,16                             | 6,08   | 0,24   | 6,32                   |
| L7          | 4,91      | 15            | 0,78 | 2,5                           | 22                         | 17,16                             | 6,08   | 0,64   | 6,72                   |
| L8          | 11,2      | 15            | 0,83 | 2,5                           | 22                         | 17,16                             | 6,08   | 1,38   | 7,46                   |
| L9          | 4,91      | 15            | 0,78 | 2,5                           | 22                         | 17,16                             | 1,73   | 0,64   | 2,37                   |
| Carga total | 200,9     |               |      |                               |                            |                                   |  |  |                        |

Tabla 30 - Conductores de potencia

Para realizar estos cálculos lo primero que necesitamos conocer fue la caída de tensión hasta los tableros seccionales donde se conectan las maquinas. Para los tableros seccionales de Dispensora, Transporte Neumático, Bombas de Agua y Compresores se puede suponer la caída de tensión igual a la del tablero principal, ya que se encuentran a muy corta distancia de este, por lo tanto:

$$\Delta_1 = 1,73[V] = 0,05\%$$

Mientras la caída de tensión hacia el tablero de la envasadora lo calculamos como:

$$\Delta_{\text{envasadora}} = \Delta_1 + \Delta_2 = 6,08 [V] = 1,6\%$$

Desde estos tableros en adelante se utiliza la siguiente formula:

$$\Delta = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho}{S} \cdot \sum (i \cdot L) * \cos\varphi$$

Aclaración: esta fórmula no contempla la caída de tensión por corriente reactiva, por lo tanto, los cables que no poseen compensación capacitiva en la carga tendrán una

pequeña pérdida que puede ser significativa para un factor de potencia menor a 0,6. En esos casos se recomienda usar la formula sin el  $\cos\varphi$  para sobredimensionar el conductor. Como en nuestro caso ningún motor tiene un factor de potencia menor a 0,78 utilizamos la formula con  $\cos\varphi$ . Además, se considera el factor de potencia del motor y no el factor corregido ya que la corrección la realizaremos aguas arriba de los tableros seccionales.

La mayor caída de tensión la tiene el motor 8, la cual es de 7,46 [V]. Calculamos la caída de tensión porcentual:

$$\Delta_{max} = \frac{7,46[V]}{380[V]} = 0,0196 = 1,96\%$$

Verifica ya que es menor a 5% y por lo tanto verifican todos los otros conductores.

### 5.2.4 Verificación de cortocircuito

Como primer paso realizamos el unifilar de todos los conductores de potencia, indicando cuales son los puntos que vamos a realizar verificación de cortocircuito.

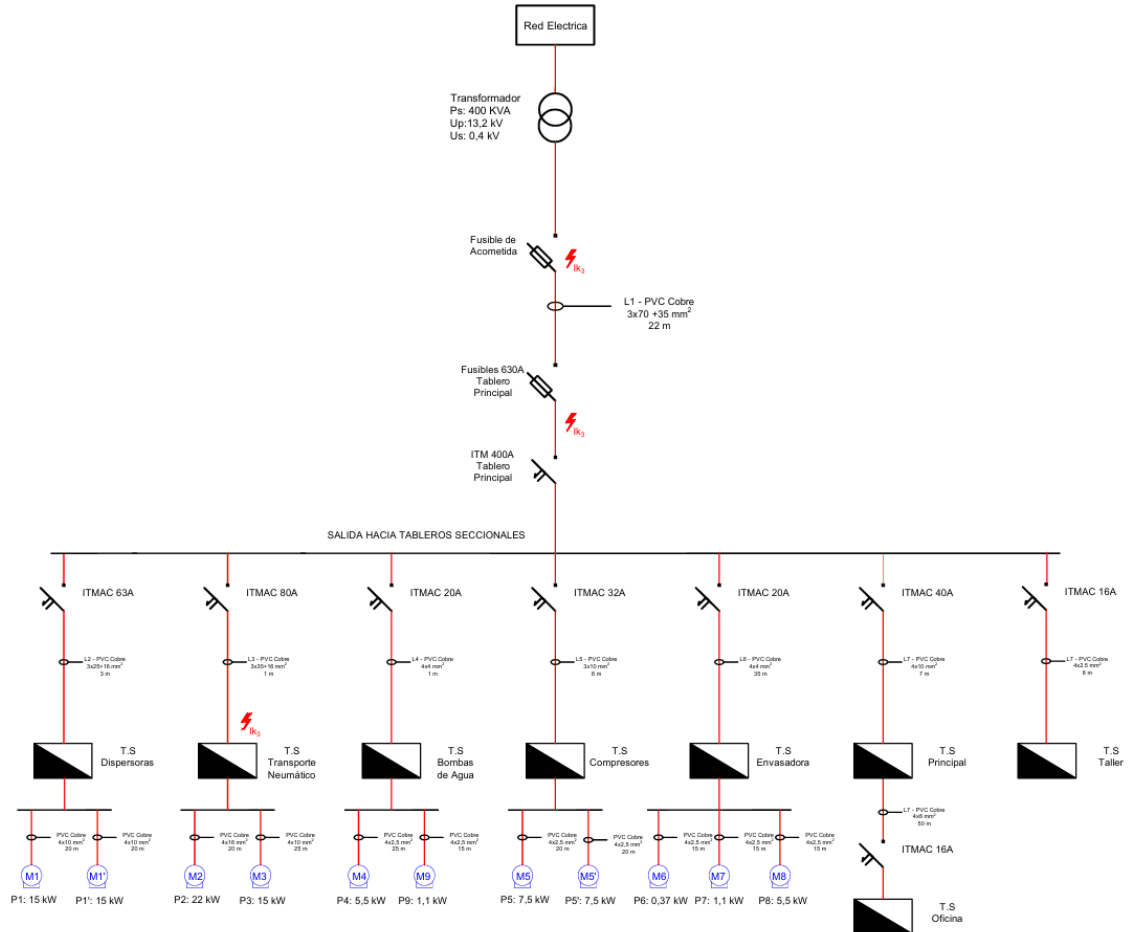


Imagen 110 - Esquema unifilar de la instalación

La verificación de corrientes de cortocircuitos la realizamos con el fin de verificar si los conductores soportan los efectos electrodinámicos producidos por las corrientes de falla además de poder verificar la correcta actuación de las protecciones.

Los valores de protecciones eléctricas para cortocircuito las seleccionamos para poder suponer los tiempos de actuación en los cálculos. Hay 3 tipos de fallas que se puedan analizar en una instalación eléctrica.

- Cortocircuito trifásico: es el más violento de todos y al mismo tiempo el menos probable que ocurra, sin embargo, es útil usar estos valores para verificar las protecciones y conductores. Ocurre cuando se puentean las 3 fases.
- Cortocircuito monofásico: es el que tiene mayor probabilidad de ocurrir y se da al cerrar el circuito entre fase y neutro.
- Cortocircuito fase-tierra: ocurre cuando hay una falla de la aislación de un equipo, por lo tanto, la fase cierra el circuito por la tierra y el punto estrella del transformador.

Antes de comenzar con los cálculos de cortocircuito definiremos los componentes en el tablero principal y los seccionales. Esto se debe a que necesitamos conocer los valores de poder de corte y tiempo de actuación de estas para realizar las verificaciones de cortocircuito.

### **Componentes Tablero Eléctricos Principal**

Empezamos definiendo los componentes eléctricos del tablero principal de la fábrica. Cabe aclarar que el tablero de toma primaria viene definido por la Distribuidora, pero debido a que no contamos con esos datos, lo definimos en este proyecto.

### Interruptor termomagnético principal

Aguas abajo a los fusibles consideramos instalar una termomagnética principal, para esto seleccionamos un interruptor compacto **Nsx400F** de 4x400 [A] setada en 4x220 [A] y con un poder de corte de 36 [kA] del fabricante *Schneider*.



*Imagen 111 - Interruptor Compacto Tablero Principal*

### Descargadores de sobretensión transitoria

Creemos que es una buena práctica incluir limitadores de sobretensión en el tablero principal para protección de los equipos, para esto se usa el siguiente modelo de Schneider:



*Imagen 112 - Descargador de sobretensión*

### Salida tablero seccional dispersoras

Selecciono un interruptor termomagnético para proteger el conductor que va hacia el tablero seccional. Para esto tengo en cuenta la corriente nominal que aporta cada motor.

Carga total  $I_t = 2 \times 30,7[A] = 61,4 [A]$  - Alimentación conductor  $3 \times 25 + 16[mm^2]$  (multipolar)

Se utilizará el modelo **C120N** 4x63 [A] y 10 [kA] de poder de corte de Schneider con una con curva de disparo C



*Imagen 113 - Interruptor termomagnético C120N*

$$61,4 [A] \leq 63 [A] \leq 116[A]$$

### Salida tablero seccional transporte neumático

Selecciono un interruptor termomagnético para proteger el conductor que va hacia el tablero seccional. Para esto tengo en cuenta la corriente nominal que aporta cada motor.

Carga total  $I_t = 43,9[A] + 30,7[A] = 74,6 [A]$  - Alimentación conductor  $3 \times 35 + 16[mm^2]$  (multipolar).

Se utilizará el modelo **C120N** 4x80 [A] y 10 [kA] de poder de corte de Schneider con una con curva de disparo C.

$$74,6 [A] \leq 80 [A] \leq 112,32[A]$$

**Salida tablero seccional bombas de agua**

Selecciono un interruptor termomagnético para proteger el conductor que va hacia el tablero seccional. Para esto tengo en cuenta la corriente nominal que aporta cada motor.

Carga total  $I_t = 11,2[A] + 4,91[A] = 16,11[A]$  - Alimentación conductor 4x4 [mm<sup>2</sup>] (multipolar)

Se utilizará el modelo **iC60N** 4x20 [A] y 10 [kA] de poder de corte de Schneider con una con curva de disparo C.

$$16,11 [A] \leq 20[A] \leq 29,64[A]$$

**Salida tablero seccional compresores**

Selecciono un interruptor termomagnético para proteger el conductor que va desde el tablero principal hacia el tablero seccional. Para esto tengo en cuenta la corriente nominal que aporta cada motor.

Carga total  $I_t = 2 \times 15,4[A] = 30,8 [A]$  - Alimentación conductor 4x10 [mm<sup>2</sup>] (multipolar)

Se utilizará el modelo **iC60N** 4x32 [A] y 10 [kA] de poder de corte de Schneider con una con curva de disparo C.

$$30,8[A] \leq 32 [A] \leq 53,04[A]$$

**Salida tablero seccional envasadora**

Selecciono un interruptor termomagnético para proteger el conductor que va desde el tablero principal hacia el tablero seccional. Para esto tengo en cuenta la corriente nominal que aporta cada motor.

Carga total  $I_t = 11,2[A] + 4,91[A] + 1,88[A] = 17,99 [A]$  - Alimentación conductor 4x4 [mm<sup>2</sup>] (multipolar)

Se utilizará el modelo **iC60N** 4x20 [A] y 10 [kA] de poder de corte de Schneider con una con curva de disparo C.

$$17,99[A] \leq 20 [A] \leq 29,64[A]$$

## **Componentes tableros eléctricos seccionales**

### **Interruptores termomagnéticos para tableros seccionales**

Los siguientes interruptores termomagnéticos se seleccionan en función de la corriente máxima de cada uno de los motores y la corriente que puede soportar el conductor según la tabla AEA de la imagen 24. Se detallan cada una de las salidas hacia los tableros motores y la justificación de la protección elegida. Recordemos que se eligen cumpliendo con la siguiente inecuación:

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

Donde  $I_B$  es la corriente de proyecto,  $I_n$  es la corriente nominal del interruptor termomagnético y  $I_z$  es la corriente admisible del conductor.

También se verificará la selectividad en esta etapa.

### **Tablero seccional dispersoras**

Los motores que pertenecen a este tablero seccional son M1 y M1' (15 [KW]), los cuales son idénticos y por ende se les seleccionará el mismo interruptor termomagnético para cada uno.

Carga 30,7 [A] - Alimentación conductor 4x10 [mm<sup>2</sup>] (multipolar).

Se utilizará el modelo **iC60N** 4x32 [A] y 10 [kA] de poder de corte de Schneider con una con curva de disparo C.



Imagen 114 - Interruptor termomagnético iC60N

$$30,7 [A] \leq 32 [A] \leq 40,56[A]$$

Ahora verifico selectividad entre los tres interruptores seleccionados.

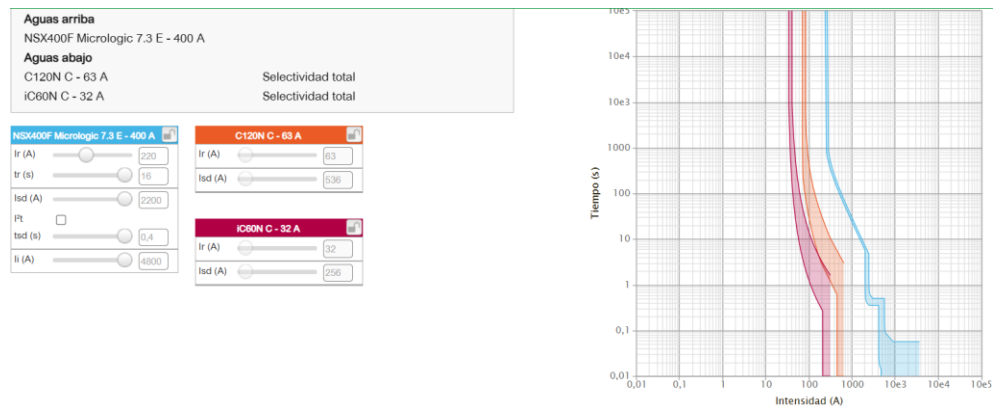


Imagen 115 – selectividad prueba 1

Vemos que la selectividad entre los interruptores termomagnéticos de los motores y el tablero seccional es parcial, pero queda todo protegido por el interruptor perteneciente al tablero principal.

### Tablero seccional transporte neumático

Se selecciona un interruptor para cada uno de los motores M2 y M3

- Motor M2 (22 [KW])

Carga 43,9 [A] - Alimentación conductor 4x16 [mm<sup>2</sup>] (multipolar).

Se utilizará el modelo **iC60N** 4x50 [A] y 10 [kA] de poder de corte de Schneider con una con curva de disparo C.

$$43,9 [A] \leq 50 [A] \leq 54,6[A]$$

- Motor M3 (15 [KW])

Carga 30,7 [A] - Alimentación conductor 4x10 [mm<sup>2</sup>] (multipolar).

Se utilizará el modelo **iC60N** 4x32 [A] y 10 [kA] de poder de corte de Schneider con una con curva de disparo C.

$$30,7 [A] \leq 32 [A] \leq 40,56[A]$$

Ahora verifico selectividad entre los tres interruptores seleccionados.

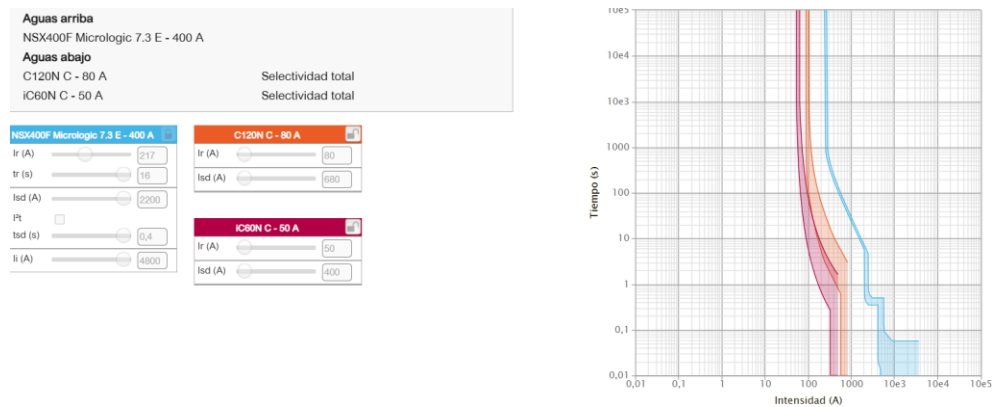


Imagen 116 - Selectividad prueba 2

Vemos que la selectividad entre los interruptores termomagnéticos del motor de mayor potencia y el tablero seccional es parcial, pero queda todo protegido por el interruptor perteneciente al tablero principal.

## Tablero seccional bombas de agua

Como estos motores M4 y M9 son de arranque directo no tendrán interruptor termomagnético, estarán protegidos por un guardamotor que se seleccionará más adelante.

Solo verifico selectividad entre los interruptores seleccionados.

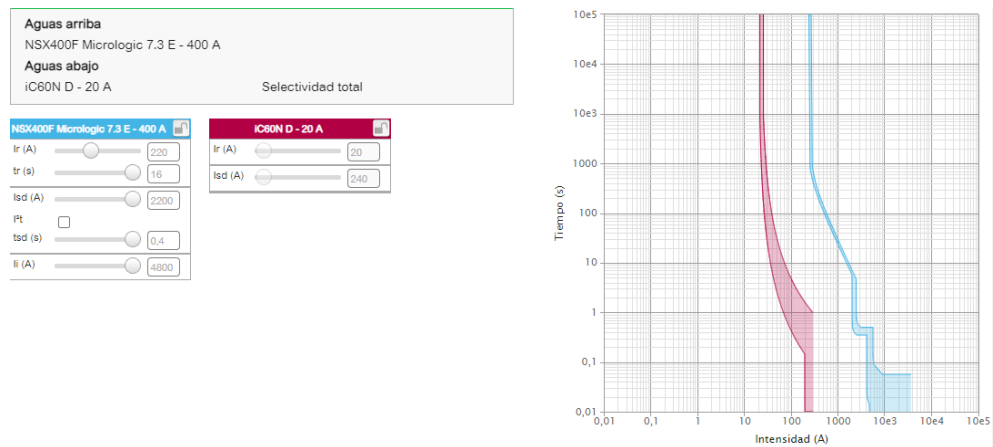


Imagen 117 - Selectividad prueba 3

Vemos que la selectividad entre los interruptores termomagnéticos del tablero seccional y principal es total.

## Tablero seccional compresores

Los motores que pertenecen a este tablero seccional son M5 y M5' (7,5[KW]), los cuales son idénticos y por ende se les seleccionará el mismo interruptor termomagnético para cada uno.

Carga 15,4 [A] - Alimentación conductor 4x2,5 [mm<sup>2</sup>] (multipolar).

Se utilizará el modelo **iC60N** 4x16 [A] y 10 [kA] de poder de corte de Schneider con una curva de disparo C.

$$15,5 [A] \leq 16 [A] \leq 17,16[A]$$

Ahora verifico selectividad entre los tres interruptores seleccionados.

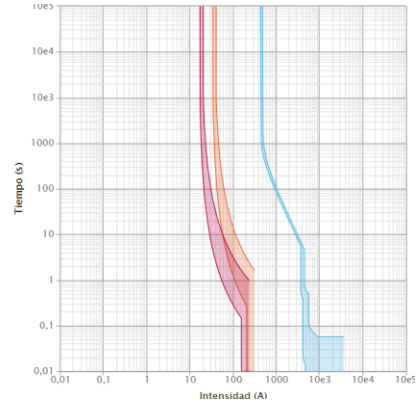
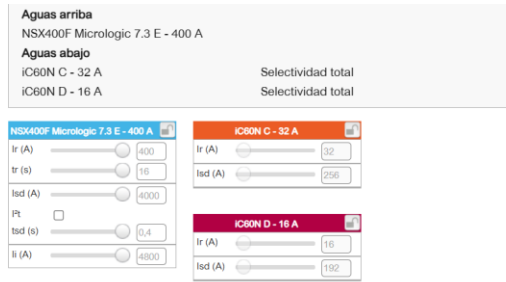


Imagen 118 - Selectividad prueba 4

Al igual que en los casos anteriores no verifica selectividad entre los interruptores del tablero seccional y del motor, pero si lo hacen ambas con el interruptor diferencial perteneciente al tablero principal.

**Tablero seccional envasadora**

Los motores M6, M7 y M8 que pertenecen a este tablero son de arranque directo por lo que no se utilizará un interruptor termomagnético, solo guardamotor.

Verifico selectividad entre los interruptores seleccionados.

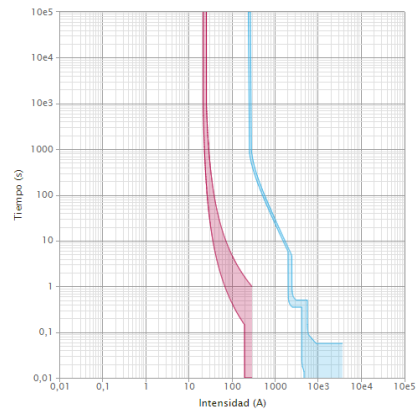
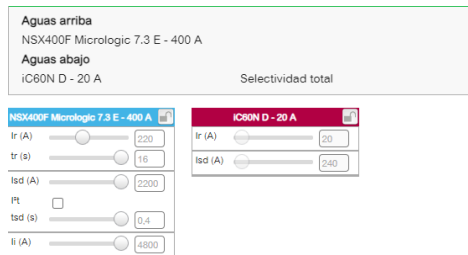


Imagen 119 - Selectividad prueba 5

Vemos que la selectividad entre los interruptores termomagnéticos del tablero seccional y principal es total.

**Verificación de cortocircuito**

Se realizará los cálculos en los puntos que son más desfavorables, debido a que realizar la verificación en toda la instalación sería únicamente repetir el proceso de cálculo y no se cree necesario. Los puntos que se analizan son tres:

- Salida del pilar: en este punto se encuentra la máxima corriente de cortocircuito ya que es el punto más cercano al transformador dentro de la instalación.
- En el tablero principal: Es el tablero más crítico dentro de la fábrica.
- Conductor de mayor sección y con el motor de mayor potencia. Este motor es el numero M2 (T.S Transporte Neumático).

Todos los cálculos los realizamos en el software Mathcad, los cuales se adjuntan en el Anexo. En este archivo solo colocaremos los resultados y conclusiones. En el siguiente esquema unifilar se resumen los puntos a verificar:

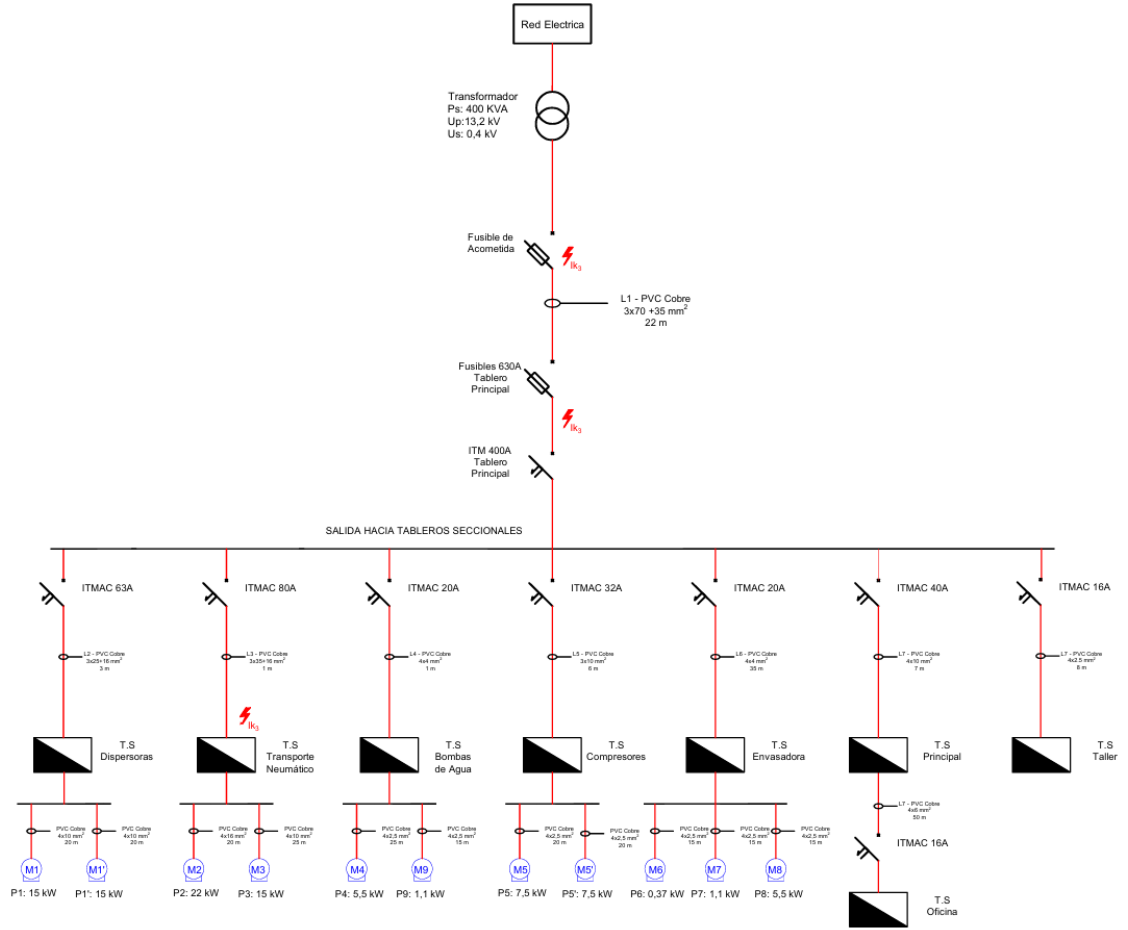


Imagen 1: Esquema unifilar instalación y puntos a analizar de cortocircuito

### Cálculo de la falla 1 – Fusibles de acometida

Esquema de la malla de falla:

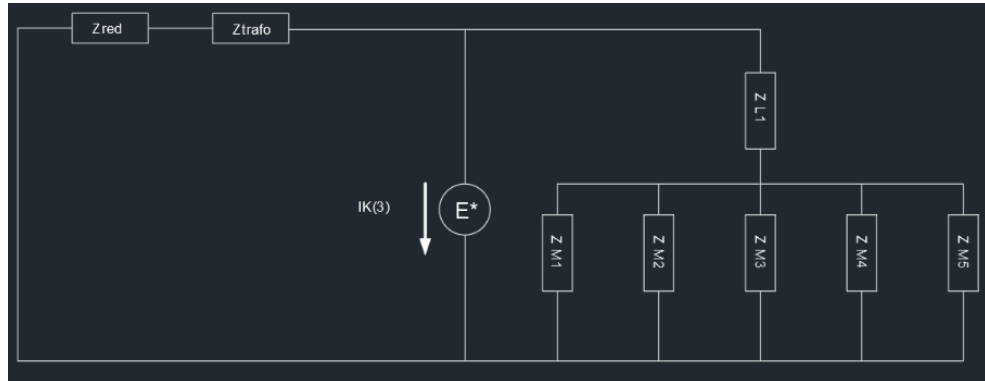


Imagen 120 - Esquema de falla 1 cortocircuito

La corriente de cortocircuito trifásica eficaz es:

$$I_{k31} = \frac{1.1 * U}{\sqrt{3} * |Z_{total1}|} = 16822,89 [A]$$

Verificación de poder de corte de la protección: tiene que cumplir la siguiente relación.

$$P_{cc1} > I_{k31}$$

Donde  $P_{cc1}$  es poder de corte de la protección. En este punto se cuenta con fusibles NH-3 con un poder de corte de 100 [kA], entonces:

$$100 [kA] > 17[kA]$$

Verificación de sección del conductor: usamos la siguiente curva de los fusibles para verificar el tiempo de actuación.

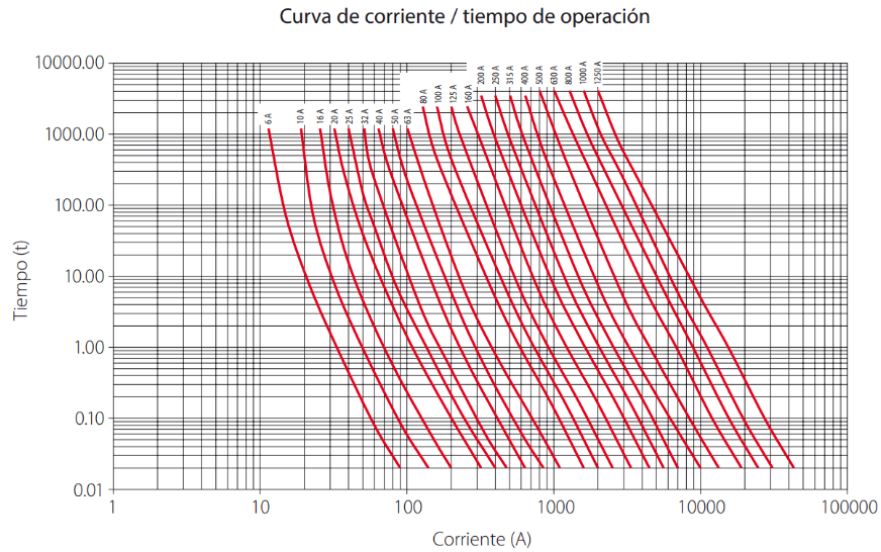


Imagen 121 - Curvas Corriente - Tiempo Fusibles NH-3

En la gráfica despejamos el tiempo de actuación con el valor de corriente de cortocircuito. Este tiempo no lo podemos despejar directamente de la gráfica, pero sabemos que es aproximadamente 0,02 [s], por lo tanto, consideramos este valor y nos cubrimos mejor. Con todos los datos se despeja la sección mínima necesaria según lo establece la normativa AEA con la formula:

$$S_1 = \frac{I_{k31} * \sqrt{t_1}}{k_1} = 20,688 [mm^2]$$

Donde k es un factor que depende del tipo de conductor, para nuestro caso conductor de cobre con aislación PVC, y se obtiene de la siguiente tabla de la AEA:

| Aislación de los conductores |   | k                         |                           |            |            | Mineral |                        |
|------------------------------|---|---------------------------|---------------------------|------------|------------|---------|------------------------|
|                              |   | PVC ≤ 300 mm <sup>2</sup> | PVC > 300 mm <sup>2</sup> | EPR / XLPE | Goma 60 °C | PVC     | Desnudo                |
| Temperatura inicial °C       |   | 70                        | 70                        | 90         | 60         | 70      | 105                    |
| Temperatura final °C         |   | 160                       | 140                       | 250        | 200        | 160     | 250                    |
| Material conductor           | Cobre                                   | 115                       | 103                       | 143        | 141        | 115     | 135 / 115 <sup>a</sup> |
|                              | Aluminio                                | 76                        | 68                        | 94         | 93         | --      | 93                     |
|                              | Uniones estañadas en conductor de cobre | 115                       | --                        | --         | --         | --      | --                     |

<sup>a</sup> Este valor debe ser empleado para cables desnudos expuestos al contacto

Tabla 31 - Tabla para obtener factor K Norma AEA 90364 [6]

Podemos concluir que verifica la sección mínima tanto de la fase ( $70 [mm^2]$ ) como del neutro ( $35 [mm^2]$ ), lo cual evita tener que realizar los cálculos de cortocircuito monofásico, ya que el cortocircuito trifásico siempre es de mayor magnitud.

### Cálculo de la falla 2 – tablero principal

Esquema de la falla:

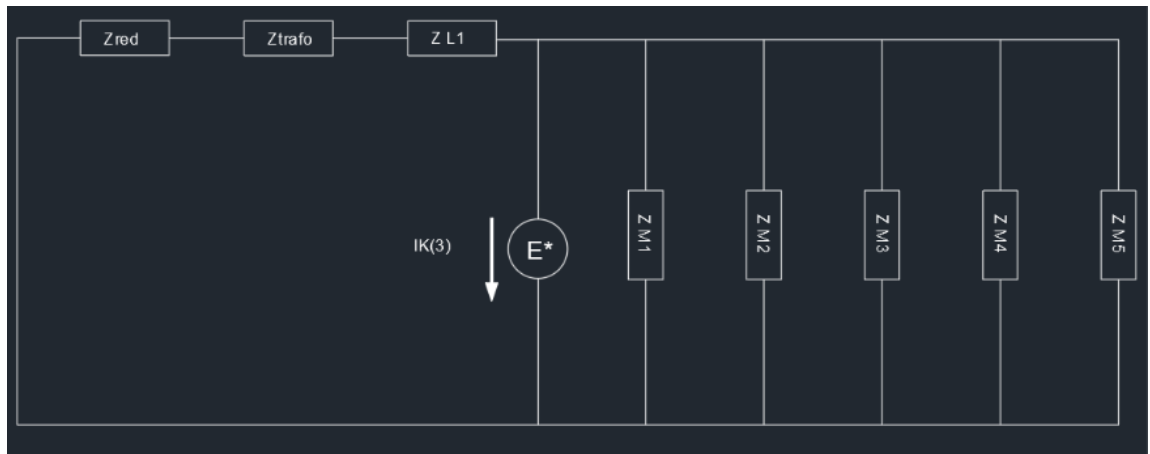


Imagen 122 - Esquema de falla 2 cortocircuito

Realizando el mismo procedimiento que en el caso anterior el siguiente valor de corriente de cortocircuito eficaz trifásico:

$$I_{k31} = \frac{1.1 * U}{\sqrt{3} * |Z_{total2}|} = 13092,14 [A]$$

Verificación del poder de corte:

$$P_{cc1} > I_{k31}$$

$$36 [kA] > 13 [kA]$$

Sección mínima necesaria:

$$S_2 = \frac{I_{k32} * \sqrt{t_2}}{k_2} = 16,1 [mm^2]$$

Verifica la sección ya que el conductor es de 70 [mm<sup>2</sup>] la fase y 35[mm<sup>2</sup>] el neutro.

### Cálculo de la falla 3 – tablero seccional transporte neumático

Esquema de la falla:

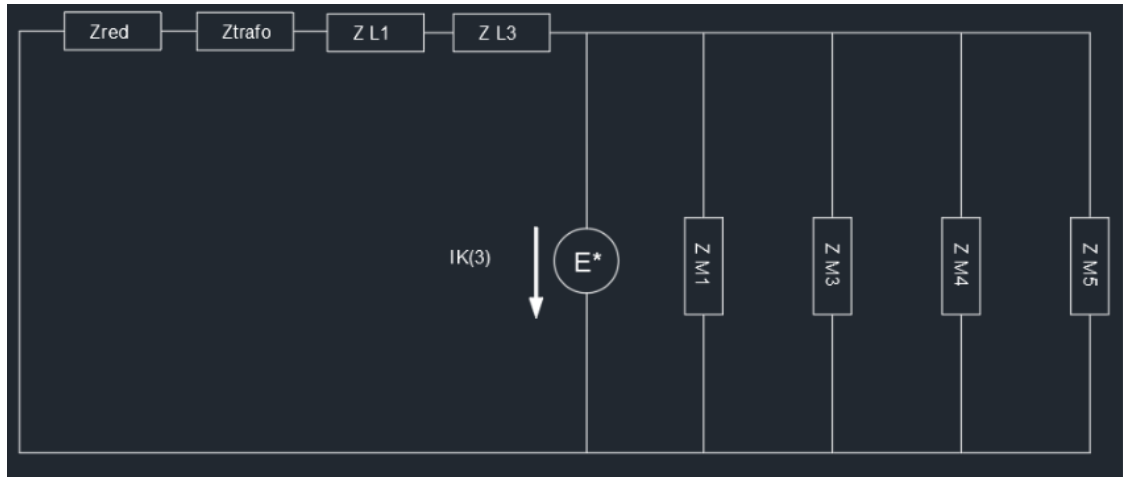


Imagen 123 - Esquema de falla 3 cortocircuito

Realizando el mismo procedimiento que en el caso anterior el siguiente valor de corriente de cortocircuito eficaz trifásico:

$$I_{k3} = \frac{1.1 * U}{\sqrt{3} * |Z_{total3}|} = 12443,46 \text{ [A]}$$

Verificación del poder de corte:

$$P_{cc3} > I_{k3}$$

$$10 \text{ [kA]} > 12,43 \text{ [kA]}$$

Este caso no verifica la protección, pero según la AEA 90364/7 en el punto 771.19.2.2, dice que será admitida la instalación de un dispositivo con una capacidad de ruptura inferior, con la condición de que otro dispositivo con la necesaria capacidad de

ruptura sea instalado del lado de alimentación o lado fuente. Y como el interruptor termomagnético instalado en el tablero principal tiene una capacidad de ruptura de 36 [kA] esta termomagnética instalada sería aceptada.

Sección mínima necesaria:

$$S_3 = \frac{I_{k3} 3 * \sqrt{t_3}}{k_2} = 10,82 [mm^2]$$

Verifica la sección ya que el conductor es de 35 [mm<sup>2</sup>] y el neutro tiene una sección de 16 [mm<sup>2</sup>]

No es necesario verificar aguas abajo del tablero ya que las secciones de los conductores que van hacia los motores son mayores a la mínima necesaria.

### **5.2.5 Dispositivos de protección y maniobra**

Como definimos los componentes del tablero principal y seccionales en la etapa 4, en esta etapa vamos a terminar de definir los componentes de los tableros seccionales.

#### **Barras en el tablero principal**

Los conductores subterráneos que provienen del pilar acometen en barras de cobre ubicadas en el tablero principal. Esto nos permite derivar circuitos hacia los tableros principales. Un ejemplo se muestra a continuación:



Imagen 124 - Ejemplo de barras en tablero

Las barras se eligen por intensidad nominal según tabla AEA:

| Dimensiones<br>Ancho x espesor<br>[mm x mm] | Sección<br>[mm <sup>2</sup> ] | Peso<br>[kg / m] | Corriente permanente para T° ambiente de 35 °C y T° en servicio en barras de 65 °C. |         |                    |         |  |         |                    |         |
|---|-------------------------------|------------------|---|---------|--------------------|---------|--|---------|--------------------|---------|
|   |                               |                  | Corriente alterna hasta 60 Hz   |         |                    |         | Corriente continua y alterna hasta 16 2/3 Hz |         |                    |         |
|   |                               |                  | Pintada   |         | Desnuda            |         | Pintada                                      |         | Desnuda            |         |
|   |                               |                  | Cantidad de barras  |         | Cantidad de barras |         | Cantidad de barras                           |         | Cantidad de barras |         |
|   |                               |                  | 1<br>I  | 2<br>II | 1<br>I             | 2<br>II | 1<br>I                                       | 2<br>II | 1<br>I             | 2<br>II |
| 12 x 2                                      | 23,5                          | 0,209            | 123   | 202     | 108                | 182     | 123  | 202     | 108                | 182     |
| 15 x 2                                      | 29,5                          | 0,262            | 148   | 340     | 128                | 212     | 148  | 240     | 128                | 212     |
| 15 x 3                                      | 44,5                          | 0,396            | 187   | 316     | 162                | 282     | 187  | 316     | 162                | 282     |
| 20 x 2                                      | 39,5                          | 0,351            | 189   | 302     | 162                | 264     | 189  | 302     | 162                | 266     |
| 20 x 3                                      | 59,5                          | 0,529            | 237   | 394     | 204                | 348     | 237  | 394     | 204                | 348     |
| 20 x 5                                      | 99,1                          | 0,882            | 319   | 560     | 274                | 500     | 320  | 562     | 274                | 502     |
| 20 x 10                                     | 199                           | 1,77             | 497   | 924     | 427                | 825     | 499  | 932     | 428                | 832     |
| 25 x 3                                      | 74,5                          | 0,663            | 287   | 470     | 245                | 412     | 287  | 470     | 245                | 414     |
| 25 x 5                                      | 124                           | 1,11             | 384   | 682     | 327                | 586     | 384  | 664     | 327                | 590     |
| 30 x 3                                      | 89,5                          | 0,796            | 337   | 544     | 285                | 476     | 337  | 546     | 286                | 478     |
| 30 x 5                                      | 149                           | 1,33             | 447   | 760     | 379                | 472     | 448  | 766     | 380                | 678     |
| 30 x 10                                     | 299                           | 2,66             | 676   | 1200    | 573                | 1060    | 683  | 1230    | 579                | 1080    |
| 40 x 3                                      | 119                           | 1,06             | 435   | 692     | 366                | 600     | 436  | 696     | 367                | 604     |
| 40 x 5                                      | 199                           | 1,77             | 573   | 952     | 482                | 836     | 576  | 966     | 484                | 848     |
| 40 x 10                                     | 399                           | 3,55             | 850   | 1470    | 715                | 1290    | 865  | 1530    | 728                | 1350    |
| 50 x 5                                      | 249                           | 2,22             | 697   | 1140    | 583                | 994     | 703  | 1170    | 588                | 1020    |
| 50 x 10                                     | 499                           | 4,44             | 1020  | 1720    | 852                | 1510    | 1050   | 1830    | 875                | 1610    |
| 60 x 5                                      | 299                           | 2,66             | 826   | 1330    | 688                | 1150    | 836  | 1370    | 696                | 1190    |
| 60 x 10                                     | 599                           | 5,33             | 1180  | 1960    | 985                | 1720    | 1230   | 1130    | 1020               | 1870    |
| 80 x 5                                      | 399                           | 3,55             | 1070  | 1680    | 885                | 1450    | 1090   | 1170    | 902                | 1530    |
| 80 x 10                                     | 799                           | 7,11             | 1500  | 2410    | 1240               | 2110    | 1590   | 2730    | 1310               | 2380    |
| 100 x 5                                     | 499                           | 4,44             | 1300  | 2010    | 1080               | 1730    | 1340   | 2160    | 1110               | 1810    |
| 100 x 10                                    | 999                           | 8,89             | 1810  | 2850    | 1490               | 2480    | 1940   | 3310    | 1600               | 2890    |
| 120 x 10                                    | 1200                          | 10,7             | 2110  | 3280    | 1740               | 2860    | 2300   | 3900    | 1890               | 3390    |
| 160 x 10                                    | 1600                          | 14,2             | 2700  | 4130    | 2220               | 3590    | 3010   | 5060    | 2470               | 4400    |
| 200 x 10                                    | 2000                          | 17,8             | 3290  | 4950    | 2690               | 4340    | 3720   | 6220    | 3040               | 5390    |

Tabla 32 - Tabla 771.16.XII AEA 90364 [6]

Se eligen 4 barras (3 fases y un neutro) de 20 [mm] x 5 [mm] pintadas.

### Componentes tableros eléctricos seccionales

Los tableros seccionales contendrán los componentes eléctricos de protección y maniobra de más de un motor, por lo tanto, se utilizarán gabinetes metálicos.

### Protección diferencial en los tableros seccionales

Cada Tablero seccional contará con una protección diferencial, de esta manera se evita el corte de energía en toda la fábrica por una falla en un sector. Empezamos definiendo cada diferencial a utilizar:

#### Tablero seccional dispersoras

Carga 61,4 [A]

Se utilizará el modelo **Acti9 iLD** 4x63 [A] y 300 [mA] de sensibilidad.



*Imagen 125 - Interruptor diferencial Tablero Acti9 iLD 4x63*

#### Tablero seccional transporte neumático

Carga 74,6 [A]

Se utilizará el modelo **Acti9 iLD** 4x80 [A] y 300 [mA] de sensibilidad.

#### Salida tablero seccional bombas de agua

Carga 16,11 [A]

Se utilizará el modelo **Acti9 iLD** 4x20 [A] y 300 [mA] de sensibilidad.

#### Salida tablero seccional compresores

Carga 30,8 [A]

Se utilizará el modelo **Acti9 iLD** 4x32 [A] y 300 [mA] de sensibilidad.

**Salida tablero seccional envasadora**

Carga 30,8 [A]

Se utilizará el modelo **Acti9 iLD** 4x32 [A] y 300 [mA] de sensibilidad.

**Selección de componentes de los tableros seccionales**

No definiremos los componentes de cada uno de los 5 gabinetes, sino que definiremos los componentes de cada uno de los motores en función del tipo de arranque utilizado. Para esto se definimos 3 tipos de arranques:

- Arranque directo: para motores con potencias menor o igual a 5,5 [KW]
- Arranque con arrancador Suave: para motores del transporte neumático y compresores, cuyas potencias son 22 [KW], 15 [KW] y dos de 7,5 [KW]
- Variadores de velocidad: para los motores de las dispersoras, ambos con una potencia de 15 [KW]

Cabe aclarar que, en todos los distintos tipos de arranques, solo se seleccionaran los componentes del esquema de potencia, es decir, no se seleccionará las luces, botones, borneras, cable canal y otros componentes secundarios del tablero, pero si se utilizarán a la hora de armar los gabinetes

**Arranque directo**

Comenzaremos seleccionando los elementos de protección de los motores con arranque directo, es decir los motores con potencia menor o igual a 5,5 [kW]. Definimos los siguientes componentes:

- Guardamotor
- Contactor

Para evitar que este proceso sea repetitivo debido a que muchos motores cuentan con la misma potencia, los reagruparemos teniendo en cuenta la potencia y corriente nominal para la selección de cada componente. Cabe aclarar que todos los componentes de estos tableros de arranque directo son del fabricante Schneider Electric.

- Motores de 0,37 [KW] (1,88A)
- Motores de 1,1 [KW] (4,91A)
- Motores de 5,5 [KW] (11,2A)

### Motores de 0,37 [KW]

El guardamotor fue seleccionado teniendo en cuenta la corriente nominal del motor (1,88 [A]). Seleccionamos un Guardamotor termomagnético *Tesys Deca 1.6-2.5A*.



*Imagen 126 - Guardamotor Tesys Deca*

Y por último seleccionamos un Contactor *K 3P 6A 1Nc 220V 50/60Hz*.



Imagen 127 - Contactor K 3P 1Nc 220V 50/60Hz

### Motores de 1,1 [KW]

Pasamos directamente a la selección del guardamotor, el cual es el mismo modelo que en los anteriores motores con la diferencia del valor de corriente. Por lo tanto, se elige un guardamotor *TesyS Deca* de **4-6,3A**. y un Contactor **K 3P 6A 1Nc 220V 50/60Hz**.

### Motores de 5,5 [KW]

Selecciono directamente el guardamotor, el cual es el mismo modelo que en los anteriores motores con la diferencia del valor de corriente. Por lo tanto, se elige un guardamotor *TesyS Deca* de **9-14A**. y un Contactor **K 3P 12A 1Nc 220V 50/60Hz**.

### Arranque suave

Este tipo de arranque lo utilizaremos para motores mayores a 7,5 [KW]. En la plata industrial se utilizará en los motores M2, M3, M5 y M5' los cuales son de una potencia de 22 [KW], 15 [KW] y 7,5 [KW] respectivamente. Para esto utilizaremos:

- Interruptor Termomagnético (ya seleccionado)
- Relé de Falta y Secuencia de Fase
- Arrancador suave

Las protecciones de sobrecarga para el motor vienen incluidas en el arrancador suave.

### Motor M2

Para esta potencia de motor consideramos que es importante contar con protección ante falta de fase ya que eso puede originar un recalentamiento y deterioro del motor. Para estos se selecciona el siguiente relé falta de fase y secuencia **RMW17** del fabricante WEG.



*Imagen 128 - Relé falta y secuencia de fases RMW17*

Por último, seleccionamos el arrancador suave del fabricante WEG, el cual debe ser capaz de soportar hasta los 22 [KW] de potencia del motor y los 43,9 [A] nominales, para esto se seleccionó un *arrancador SSW05 de 45 [A]*.



*Imagen 129 - Arrancador Suave SSW05*

### **Motor M3**

Para este motor utilizaremos los mismos componentes, pero adecuados a una potencia de 15 [KW] y una corriente nominal de 30,7 [A].

- Relé falta de fase: RMW17
- Arrancador suave: SSW05 de 45 [A]

### **Motores M5 y M5'**

Para este motor utilizaremos los mismos componentes, pero adecuados a una potencia de 7,5 [KW] y una corriente nominal de 15,4 [A].

- Relé falta de fase: RMW17
- Arrancador suave: SSW05 de 16 [A]

### **Variador de velocidad**

Este tipo de arranque solo se utilizarán en los motores de las dispersoras, ya que estos necesitan modificar su velocidad dependiendo de proceso productivo.

**Motores M1 y M1'**

Para este motor utilizaremos los mismos componentes un relé de falta de fase y un variador de velocidad para una potencia de 15 [KW] y una corriente nominal de 30,7 [A].

- Relé falta de fase: RMW17
- Variador: Schneider 3X380-500V 15KW 20HP 33A [A]



*Imagen 130 - Variador de Velocidad Schneider 3X380-500V 15KW 20HP 33A*

### 5.2.6 Factor de potencia

Nos debemos asegurar que los valores de factor de potencia de la instalación estén dentro de lo aceptable por la distribuidora y en caso contrario utilizar un banco de capacitores para corregirlo.

Vamos a calcular en primera instancia los valores de potencia activa, reactiva y aparente de cada una de las cargas.

| Motor        | U [V] | Carga[A] | FP   | S[KVA] | P[KW]         | Q[KVAr]      |
|--------------|-------|----------|------|--------|---------------|--------------|
| M1           | 380   | 30,7     | 0,83 | 20,21  | 16,77         | 11,27        |
| M1'          | 380   | 30,7     | 0,83 | 20,21  | 16,77         | 11,27        |
| M2           | 380   | 43,9     | 0,84 | 28,89  | 24,27         | 15,68        |
| M3           | 380   | 30,7     | 0,83 | 20,21  | 16,77         | 11,27        |
| M4           | 380   | 11,2     | 0,83 | 7,37   | 6,12          | 4,11         |
| M5           | 380   | 15,4     | 0,85 | 10,14  | 8,62          | 5,34         |
| M5'          | 380   | 15,4     | 0,85 | 10,14  | 8,62          | 5,34         |
| M6           | 380   | 1,88     | 0,78 | 1,24   | 0,97          | 0,77         |
| M7           | 380   | 4,91     | 0,78 | 3,23   | 2,52          | 2,02         |
| M8           | 380   | 11,2     | 0,83 | 7,37   | 6,12          | 4,11         |
| M9           | 380   | 4,91     | 0,78 | 3,23   | 2,52          | 2,02         |
| <b>Total</b> |       |          |      |        | <b>110,06</b> | <b>73,21</b> |

Tabla 33 - Relevamiento de cargas para corrección de FP

Si agrupamos la potencia activa y reactiva por tablero podemos ver la potencia aparente de cada uno y el factor de potencia que tiene cada uno.

| Tableros             | P[KW] | Q[kVAr] | S[kVA] |
|----------------------|-------|---------|--------|
| Dispensoras          | 33,54 | 22,54   | 40,41  |
| Transporte Neumático | 41,04 | 26,95   | 49,10  |
| Bombas de Agua       | 8,64  | 6,13    | 10,60  |
| Compresores          | 17,23 | 10,68   | 20,27  |
| Envasadora           | 9,60  | 6,91    | 11,83  |

Tabla 34 - Potencia activa y reactiva por tablero

Calculamos el FP de cada tablero haciendo la división entre la potencia activa y aparente de cada tablero.

| Tableros             | Cos $\phi$ |
|----------------------|------------|
| Dispensoras          | 0,83       |
| Transporte Neumático | 0,84       |
| Bombas de Agua       | 0,82       |
| Compresores          | 0,85       |
| Envasadora           | 0,81       |

Tabla 35 - Factor de potencia por tablero

Como todos los tableros tienen un factor de potencia menor a 0.9 debemos tener en cuenta todos los motores y obtenemos el factor de potencia de toda la instalación.

$$P = 110,06[\text{KW}] \quad Q = 73,21[\text{kVAr}] \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 132,18[\text{kVA}]$$

$$\cos\phi_1 = \frac{P}{S_T} = \frac{110,06[\text{KW}]}{132,18[\text{kVA}]} = 0.833$$

El ángulo de potencia reactiva para un factor de potencia de 0.9 es de:

$$\phi_2 = \arccos(0.9) = 0,451$$

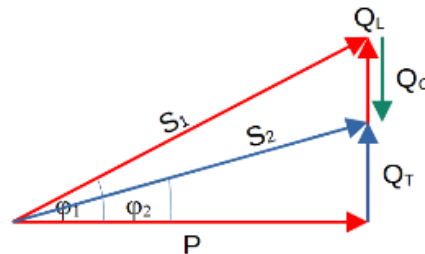


Imagen 131 - Diagrama vectorial de potencias

$$Q_T = P * \tan(\phi_2) = 49,64[\text{kVAr}]$$

Por lo tanto, la potencia necesaria para corregir el factor de potencia a 0.9 es de:

$$Q_C = Q - Q_T = 73,21[\text{kVAr}] - 49,64[\text{kVAr}]$$

$$Q_C = 23,57[\text{kVAr}]$$

La potencia del banco de capacitores requerida por la instalación para tener un factor de potencia de 0,9 debe ser mayor a 24 [kVAr].

Se utilizará un banco de capacitores donde se puedan ir acoplando escalonadamente las cargas capacitivas a medida que vaya variando la demanda, para no tener problemas de sobretensiones.

Seleccionamos un banco automático de la marca *ELECOND* modelo 2RA0250 de 25 [kVAR] con 3 escalonamientos 5+5+15



*Imagen 132 - Banco de capacitores*

| Modelo         | kVAR a 400V | Configuración | Dimensiones            |
|----------------|-------------|---------------|------------------------|
| 2RA0050        | 5           | 1+2+2         | 450 x 300 x 175        |
| 2RA0075        | 7,5         | 2.5+5         | 450 x 300 x 175        |
| 2RA0100        | 10          | 2.5+2.5+5     | 450 x 300 x 175        |
| 2RA0125        | 12,5        | 2.5+5+5       | 450 x 300 x 175        |
| 2RA0150        | 15          | 5+10          | 450 x 300 x 175        |
| 2RA0151        | 15          | 2.5+5+7.5     | 450 x 300 x 175        |
| 2RA0175        | 17,5        | 2.5+5+10      | 450 x 300 x 175        |
| 2RA0200        | 20          | 5+5+10        | 450 x 300 x 175        |
| <b>2RA0250</b> | <b>25</b>   | <b>5+5+15</b> | <b>450 x 300 x 175</b> |
| 2RB0300        | 30          | 5+10+15       | 600 x 300 x 175        |
| 2RB0375        | 37,5        | 7,5+15+15     | 600 x 300 x 175        |
| 2RB0450        | 45          | 15+15+15      | 600 x 300 x 175        |

*Tabla 36 - Modelo de banco de capacitores*

### 5.2.7 Puesta a Tierra

En base a la norma AEA 90364-7 el tipo de sistema de puesta a tierra que se debe utilizar es el TT, el cual se muestra a continuación.

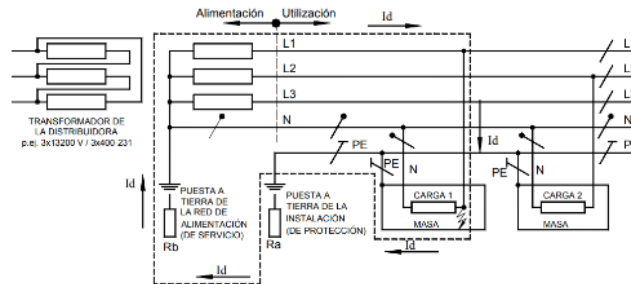


Imagen 133 - Esquema TT normalizado puesta a tierra

Donde:

-PE: conductor de protección de la instalación, conectado a la puesta a tierra independiente a la empresa distribuidora.

-Id: corriente de falla.

-Ra: resistencia de puesta a tierra de la instalación.

-Rb: resistencia de puesta a tierra del servicio de la red.

### Determinación de la resistencia de puesta a tierra

Este procedimiento consiste en obtener una resistencia de puesta a tierra muy inferior a la resistencia total que experimenta una persona al estar tocando un equipo. Los esquemas de falla se muestran en las siguientes imágenes:

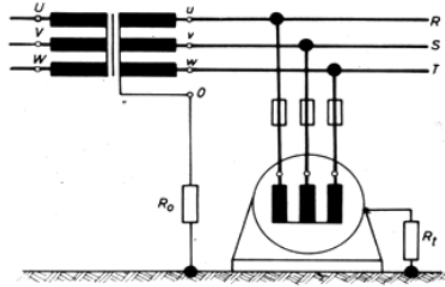


Imagen 134 - Esquema de falla de aislación

### Resistencia del suelo

Según la norma, lo primero es seleccionar el electrodo de puesta a tierra. Para eso debemos determinar la resistencia de puesta a tierra. En nuestro caso vamos a utilizar la tabla 771-C.

Considerando tierra suelta los valores rondan desde 30 a 100. Elegimos el valor más desfavorable, es decir 100. Cabe destacar que en el departamento Paraná y en gran parte de la provincia de Entre Ríos, se suele tener valores menores a este.

**771-C.9.1: Tipo de suelo o terreno**

La Tabla 771-C.VIII sirve como orientación para conocer la resistividad de diferentes tipos de terrenos.

**Tabla 771-C.VIII - Resistividades de terrenos**

| Tipo de suelo                                 | Condiciones climáticas  |                         |  |  |                                 |
|---|---|-------------------------|--|--|---------------------------------|
|   | A<br>Precipitaciones normales y abundantes<br>(más de 500 mm por año) |                         | B<br>Precipitaciones escasas y condiciones desérticas<br>(menos de 500 mm por año) |  | C<br>Aguas subterráneas salinas |
|   | Valor más probable  | Gama de valores medidos | Gama de valores medidos  |  | Gama de valores medidos         |
|   | $\Omega m$  | $\Omega m$              | $\Omega m$   |  | $\Omega m$                      |
| Aluvial y arcillas livianas                   | 5   | *                       | *  |  | 1 a 5                           |
| Arcillas (excluy. al aluvial)                 | 10  | 5 a 20                  | 10 a 100   |  | 3 a 10                          |
| Greda   | 20  | 10 a 20                 | 50 a 300   |  | 3 a 10                          |
| Tierra calcárea porosa (por ejemplo greda)    | 50  | 30 a 100                | 50 a 300   |  | 3 a 10                          |
| Arenisca porosa                               | 100   | 30 a 300                | > 1000   |  | 10 a 30                         |
| Cuarzos y piedra caliza compacta y cristalina | 300   | 100 a 1000              | > 1000   |  | 30 a 100                        |
| Pizarras arcillosas y esquistos pizarrosos    | 1000  | 300 a 3000              | > 1000   |  | 30 a 100                        |
| Granito                                       | 1000  | 300 a 3000              | > 1000   |  | 30 a 100                        |
| Pizarras rajadizas, rocas ígneas              | 2000  | > 1000                  | >1000  |  | 30 a 100                        |

\* Según el nivel de agua en el lugar considerado.

La Tabla 771-C.IX siguiente también permite tener una orientación para conocer la resistividad de diferentes tipos de suelos.

*Tabla 37 - Resistividades de terrenos tabla*

$$\rho = 100 [\Omega m]$$

**Selección de la jabalina**

Posteriormente pasamos a elegir una Jabalina cilíndrica según norma IRAM 2309 y 2310 del fabricante *GENROD*

Según el Anexo 771-C de la AEA 90364-7 se exige mínimamente 1 jabalina de 3000 [mm] o 2 de 1500 [mm] y debe tener un diámetro mínimo de 12,6 [mm] (1/2"). Elegimos una jabalina de 1/2" y 3000 [mm]

| Código   | Denominación        | Descripción             |
|----------|---------------------|-------------------------|
| JLJC1010 | Jab 3/8" x 1000 mm* | Jabalina 3/8" x 1000 mm |
| JLJC1015 | L1015               | Jabalina 3/8" x 1500 mm |
| JLJC1020 | L1020               | Jabalina 3/8" x 2000 mm |
| JLJC1210 | Jab 1/2" x 1000 mm* | Jabalina 1/2" x 1000 mm |
| JLJC1215 | L1415               | Jabalina 1/2" x 1500 mm |
| JLJC1220 | L1420               | Jabalina 1/2" x 2000 mm |
| JLJC1230 | L1430               | Jabalina 1/2" x 3000 mm |
| JLJC1610 | Jab 5/8" x 1000 mm* | Jabalina 5/8" x 1000 mm |
| JLJC1615 | L1615               | Jabalina 5/8" x 1500 mm |
| JLJC1620 | L1620               | Jabalina 5/8" x 2000 mm |
| JLJC1630 | L1630               | Jabalina 5/8" x 3000 mm |
| JLJC1910 | Jab 3/4" x 1000 mm* | Jabalina 3/4" x 1000 mm |
| JLJC1915 | L1815               | Jabalina 3/4" x 1500 mm |
| JLJC1920 | L1820               | Jabalina 3/4" x 2000 mm |
| JLJC1930 | L1830               | Jabalina 3/4" x 3000 mm |

\* De acuerdo con la norma IRAM 2309 las jabalinas de largo menor a 1500 mm no se normalizan.



Espeor de cobre mín. 254 micrones

Imagen 135 - Jabalinas de puesta a tierra

### Datos de la jabalina para calcular RT

$L = 3000$  [mm] (Largo de la jabalina)

$d = \frac{1}{2}$  [pulg.] (Diámetro de la jabalina)

$A = \frac{\pi * d^2}{4} = 126.677$  [mm<sup>2</sup>] (Área)

Según la normativa para el cálculo de Resistencia de puesta a tierra de jabalinas enterradas verticalmente, se usa la siguiente formula:

$$R = \frac{\rho}{2\pi * L} \left( \ln \left( \frac{8 * L}{d} - 1 \right) \right) = 40,02 \text{ } [\Omega]$$

Según la cláusula 770.3.2 de la AEA 90364-7 el valor máximo permanente de resistencia de puesta a tierra puede ser menor o igual a 40 [Ω]. Para cubrirnos preferimos

colocar 2 jabalinas y así obtener una resistencia menor. Si agregamos otra de las mismas dimensiones tenemos una resistencia total de:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_j} + \frac{1}{R_j}} = 20,01 [\Omega]$$

La siguiente tabla nos indica los valores máximos permitidos según el tipo de corriente del dispositivo diferencial.

**Tabla 771.3.I – Valores máximos de resistencia de puesta a tierra de protección**

| Corriente diferencial máxima asignada del dispositivo diferencial<br>$I_{\Delta n}$ |                       | Columna 1<br>Valor máximo de la resistencia de la toma de tierra de las masas eléctricas Ra ( $\Omega$ ) para U <sub>i</sub> 50 V | Columna 2<br>Valor máximo de la resistencia de la toma de tierra de las masas eléctricas Ra ( $\Omega$ ) para U <sub>i</sub> 24 V | Columna 3<br>Valor máximo permitido de la resistencia de la toma de tierra de las masas eléctricas Ra ( $\Omega$ ) |
|---|-----------------------|---|---|--|
| Sensibilidad baja   | 20 A                  | 2,5   | 1,2   | 0,6  |
|   | 10 A                  | 5   | 2,4   | 1,2  |
|   | 5 A                   | 10  | 4,8   | 2,4  |
|   | 3 A                   | 17  | 8   | 4  |
| Sensibilidad media  | 1 A                   | 50  | 24  | 12   |
|   | 500 mA                | 100   | 48  | 24   |
|   | 300 mA                | 167   | 80  | 40   |
| Sensibilidad alta   | 100 mA                | 500   | 240   | 40   |
|   | Hasta 30 mA inclusive | Hasta 1666  | 800   | 40   |

*Tabla 38 - Máximos valores de resistencia de puesta a tierra permitidos*

En nuestro caso utilizaremos interruptores diferenciales de 300mA. Por lo tanto, cumplimos con la normativa ya que exige menor de 40  $\Omega$ .

### Verificación de la tensión en el operador

Suponemos un valor de resistencia de red de:  $R_o = 2[\Omega]$

Para una corriente del diferencial de  $I_d = 300[mA]$

En caso de contacto, la tensión de la persona en el punto de contacto será:

$$U_o = I_d * (R_o + R_T) = 6,6[V]$$

Como este valor es menor a 50V, la Persona estaría fuera de peligro.

### Distancia mínima entre PAT de la red y la instalación

Ahora pasamos a calcular según esta normativa el electrodo de puesta a tierra independiente. El mismo debe situarse a una distancia de la puesta a tierra de la red de al menos 10 veces el radio equivalente, valor que se puede calcular con esta fórmula según AEA:

$$R_e = \frac{L}{\ln\left(\frac{L}{d}\right)} = 0.549[m]$$

Por lo tanto, cada jabalina debe ubicarse a una distancia mínima de la jabalina de la distribuidora de:

$$L_{min} = 10 * R_e = 5,49 [m]$$

Es importante cumplir esta distancia mínima, ya que previene interferencias electromagnéticas en las proximidades

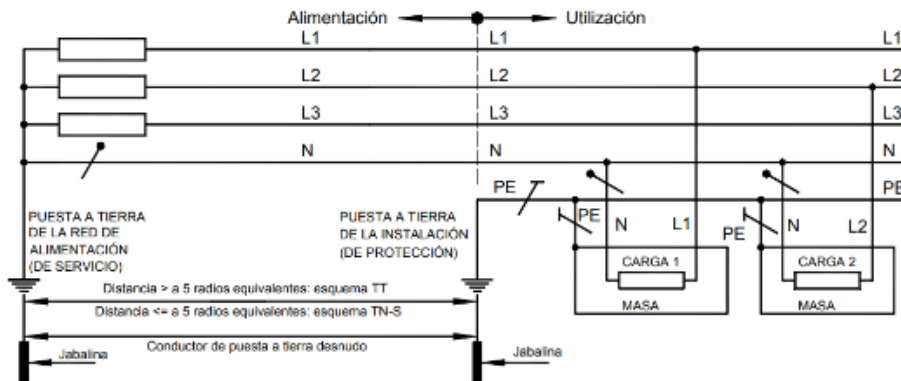


Imagen 136 - Esquema distancia mínima entre puestas a tierra

### Sección mínima del conductor de puesta a tierra

Por último, pasamos a determinar las secciones mínimas de conductores de puesta a tierra, en nuestro caso, elegimos cables con aislación PVC según IRAM NM247-3, cuya sección se determina con las siguientes tablas y formulas:

**Tabla 771-C.II - Secciones mínimas de los conductores de puesta a tierra y de protección**

| Sección de los conductores de línea de la instalación S [mm²] | Sección nominal del correspondiente conductor de protección "S <sub>PE</sub> " [mm²] y del conductor de puesta a tierra "S <sub>PAT</sub> " [mm²] |  |
|---|---|--|
|   | Si el conductor de protección (o el de puesta a tierra) es del mismo material que el conductor de línea   | Si el conductor de protección (o el de puesta a tierra) no es del mismo material que el conductor de línea |
| $S \leq 16$   | S   | $\frac{k_1}{k_2} \times S$   |
| $16 < S \leq 35$  | 16  | $\frac{k_1}{k_2} \times 16$  |
| $S > 35$  | S/2   | $\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S}{2}$   |

Donde:  
 $k_1$  es el valor de k para el conductor de línea, elegido de la Tabla 771.19.II, de acuerdo con los materiales del conductor y su aislación,  
 $k_2$  es el valor de k para el conductor de protección, elegido de las tablas 771-C.III a 771-C.VII, según corresponda.

Tabla 39 - Tabla 771-C.II

**Tabla 771.19.II – Valores de k para los conductores de línea**

| Aislación de los conductores | k                                       |               |            |            |         |         |                        |
|------------------------------|---|---------------|------------|------------|---------|---------|------------------------|
|                              | PVC < 300 mm²                           | PVC > 300 mm² | EPR / XLPE | Goma 60 °C | Mineral |         |                        |
|                              |   |               |            |            | PVC     | Desnudo |                        |
| Temperatura inicial °C       | 70                                      | 70            | 90         | 60         | 70      | 105     |                        |
| Temperatura final °C         | 160                                     | 140           | 250        | 200        | 160     | 250     |                        |
| Material conductor           | Cobre                                   | 115           | 103        | 143        | 141     | 115     | 135 / 115 <sup>1</sup> |
|                              | Aluminio                                | 76            | 68         | 94         | 93      | —       | 93                     |
|                              | Uniones estañadas en conductor de cobre | 115           | —          | —          | —       | —       | —                      |

<sup>1</sup> Este valor debe ser empleado para cables desnudos expuestos al contacto

Tabla 40 - Tabla 771.19.II

**Tabla 771-C.III - Valores de k para conductores de protección aislados, no incorporados a los cables y no agrupados con otros cables**

| Aislación del conductor | Temperatura [°C] <sup>b</sup> |                      | Material del conductor    |                    |                    |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|
|                         | Inicial                       | Final                | Cobre                     | Aluminio           | Aosno              |
|                         |                               |                      | Valores de k <sup>c</sup> |                    |                    |
| 70 °C PVC               | 40                            | 180/140 <sup>a</sup> | 138/126 <sup>a</sup>      | 90/83 <sup>a</sup> | 50/46 <sup>a</sup> |
| 90 °C PVC               | 40                            | 180/140 <sup>a</sup> | 138/126 <sup>a</sup>      | 90/83 <sup>a</sup> | 50/46 <sup>a</sup> |
| 90 °C EPR o XLPE        | 40                            | 250                  | 170                       | 113                | 62                 |
| 60 °C Goma              | 40                            | 200                  | 153                       | 101                | 58                 |
| 85 °C Goma              | 40                            | 220                  | 160                       | 108                | 58                 |
| Caucho siliconado       | 40                            | 350                  | 196                       | 130                | 71                 |

<sup>a</sup> El menor valor se aplica a conductores aislados en PVC de una sección mayor a 300 mm².  
<sup>b</sup> Los límites de temperatura para los distintos tipos de aislación están dados en IEC 60724.  
<sup>c</sup> el valor de k resultará de aplicar lo indicado en el Anexo A del Capítulo 54 de la Parte 5 de esta Reglamentación.

Tabla 41 - Tabla AEA para calcular conductor de puesta a tierra

$$K_1 = 115 \text{ (Conductor de línea)}$$

$$K_2 = 136 \text{ (Conductor de cobre)}$$

### **Tablero principal**

$$\text{Sección de línea: } S = 70 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Por lo tanto, la sección del cable a tierra es:

$$S_{PATp} = \frac{k_1}{k_2} * \frac{S}{2} = 29,6 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (\text{Seleccionamos } 35 \text{ [mm}^2\text{)})$$

### **Tablero seccional dispersoras**

$$\text{Sección de línea: } S = 25 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Por lo tanto, la sección del cable a tierra es:

$$S_{PAT1} = \frac{k_1}{k_2} * 16 = 13,52 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (\text{Seleccionamos } 16 \text{ [mm}^2\text{)})$$

### **Tablero seccional transporte neumático:**

$$\text{Sección de línea: } S = 35 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Por lo tanto, la sección del cable a tierra es:

$$S_{PAT2} = \frac{k_1}{k_2} * 16 = 13,52 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (\text{Seleccionamos } 16 \text{ [mm}^2\text{)})$$

### **Tablero bombas de agua:**

$$\text{Sección de línea: } S = 4 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Por lo tanto, la sección del cable a tierra es:

$$S_{PAT3} = \frac{k_1}{k_2} * s = 3,38 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (\text{Seleccionamos } 4 \text{ [mm}^2\text{)})$$

**Tablero seccional compresores:**

Sección de línea:  $S = 10 [mm^2]$

Por lo tanto, la sección del cable a tierra es:

$$S_{PAT4} = \frac{k_1}{k_2} * S = 8,46 [mm^2] \quad (\text{Seleccionamos } 10 [mm^2])$$

**Tablero seccional taller**

Sección de línea:  $S = 2,5 [mm^2]$

Por lo tanto, la sección del cable a tierra es:

$$S_{PAT5} = \frac{k_1}{k_2} * S = 2.11 [mm^2] \quad (\text{Seleccionamos } 2.5 [mm^2])$$

**Tablero seccional envasadora:**

Sección de línea:  $S = 4 [mm^2]$

Por lo tanto, la sección del cable a tierra es:

$$S_{PAT5} = \frac{k_1}{k_2} * S = 3,38 [mm^2] \quad (\text{Seleccionamos } 4 [mm^2])$$

## 6 Análisis Económico y Financiero

En esta etapa se lleva a cabo un análisis económico y financiero del proyecto con el fin de definir la viabilidad de este.

Inicialmente se determina cual es el monto que se debe invertir y la manera en que se financiará. Luego se muestra los ingresos y egresos, para poder desarrollar un flujo de fondos. Finalmente, se indica cual es el periodo de retorno de la inversión, junto con los indicadores de TIR y VAN.

Los precios utilizados son mayormente en dólares estadounidenses, todos serán convertidos a pesos argentinos a tipo de cambio oficial.

### 6.1 Inversión inicial

Para realizar un cómputo y presupuesto se decidió dividir este en cuatro grandes grupos:

- **Instalaciones:** en este grupo se encuentran tanto la instalación eléctrica, neumática, sanitarias, gas y automatización
- **Producción:** pertenecen a este grupo todos los equipos involucrados en el proceso de fabricación como también los depósitos de materia prima y producto terminado.
- **Infraestructura:** en este apartado se encuentra el costo del terreno, de la nave y cimientos.

A continuación, se muestra una tabla resumen indicando el costo total de llevar a cabo el proyecto, es decir, incluyendo la planta productiva total con todas sus máquinas, equipos, infraestructura y mas.

| Sector          | Ítem            | Costo [€]        | Costo [€USD] |
|-----------------|-----------------|------------------|--------------|
| Producción      | Dispersoras     | \$ 134.914.032   | 126.324      |
|                 | Envasadora      | \$ 59.444.880    | 55.660,00    |
|                 | Envolvedora     | \$ 10.230.000    | 9.578,65     |
|                 | Auto elevador   | \$ 55.568.040    | 52.030,00    |
|                 | Depósitos       | \$ 127.228.767   | 119.128      |
| Instalaciones   | Eléctrica       | \$ 76.251.120    | 71.396,18    |
|                 | Neumática       | \$ 8.022.237     | 7.511,46     |
|                 | Sanitaria y gas | \$ 43.623.018    | 40.845,52    |
|                 | Automatización  | \$ 288.435.134   | 270.070      |
| Infraestructura | Terreno         | \$ 74.760.000    | 70.000,00    |
|                 | Nave            | \$ 248.313.000   | 232.502,81   |
|                 | Cimientos       | \$ 11.445.516    | 10.716,78    |
| Total           |                 | \$ 1.138.235.743 | 1.065.764    |

*Tabla 42 - Tabla resumen de Inversión*

El monto 1138 total por invertir para comenzar el proyecto será de **\$1.138.235,743**

## 6.2 Financiamiento

Debido al alto costo del proyecto se realizarán 2 etapas de inversión y una ampliación de fabrica para llegar al máximo de producción estimada.

Inicialmente se comenzará trabajando de manera manual y con una sola línea de producción. Luego al cabo de un año se comprarán e instalarán la segunda linda de producción junto con la automatización. Por último, en la tercera inversión en un plazo de tres años se añadirán dos líneas de producción más con su respectiva automatización.

### 6.2.1 Primera etapa.

La inversión necesaria en esta etapa es de \$ **640.171.805**, se detalla en el siguiente cuadro:

| Primera Inversión     |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| 1 Dispensora          | \$ 33.728.508         |
| Auto elevador         | \$ 55.568.040         |
| Depósitos             | \$ 88.460.367         |
| Instalaciones         | \$ 84.273.356,58      |
| Instalación sanitaria | \$ 43.623.018         |
| Infraestructura       | \$ 334.518.516        |
| <b>Total</b>          | <b>\$ 640.171.805</b> |

*Tabla 43 - Resumen primera inversión*

Se dispone por medio de un grupo inversor un total de \$**305.653.289,24**, capaz de solventar los gastos de las instalaciones, depósitos, una dispensora y un Auto elevador.

El pago de la infraestructura, es decir, el costo del terreno y la nave se pagará en 12 cuotas con un interés mensual del 2,5%, estas cuotas se comenzarán a pagar a 6 meses de iniciada la obra.

| Cuota | Amortización  | Saldo Restante | Interés         | Monto por Pagar  |
|-------|---------------|----------------|-----------------|------------------|
| 0     |               | \$ 334.518.516 |                 |                  |
| 1     | \$ 27.876.543 | \$ 306.641.973 | \$ 8.362.962,90 | \$ 36.239.505,90 |
| 2     | \$ 27.876.543 | \$ 278.765.430 | \$ 7.666.049,33 | \$ 35.542.592,33 |
| 3     | \$ 27.876.543 | \$ 250.888.887 | \$ 6.969.135,75 | \$ 34.845.678,75 |
| 4     | \$ 27.876.543 | \$ 223.012.344 | \$ 6.272.222,18 | \$ 34.148.765,18 |
| 5     | \$ 27.876.543 | \$ 195.135.801 | \$ 5.575.308,60 | \$ 33.451.851,60 |
| 6     | \$ 27.876.543 | \$ 167.259.258 | \$ 4.878.395,03 | \$ 32.754.938,03 |
| 7     | \$ 27.876.543 | \$ 139.382.715 | \$ 4.181.481,45 | \$ 32.058.024,45 |
| 8     | \$ 27.876.543 | \$ 111.506.172 | \$ 3.484.567,88 | \$ 31.361.110,88 |
| 9     | \$ 27.876.543 | \$ 83.629.629  | \$ 2.787.654,30 | \$ 30.664.197,30 |
| 10    | \$ 27.876.543 | \$ 55.753.086  | \$ 2.090.740,73 | \$ 29.967.283,73 |
| 11    | \$ 27.876.543 | \$ 27.876.543  | \$ 1.393.827,15 | \$ 29.270.370,15 |
| 12    | \$ 27.876.543 | \$ 0           | \$ 696.913,58   | \$ 28.573.456,58 |

*Tabla 44 - Cuotas del terreno y la nave industrial*

### 6.2.2 Segunda etapa.

Esta etapa se financiará con las ganancias de la primera etapa y tiene un costo de inversión de \$ **247.620.955**, se muestra a continuación un cuadro detallando los montos de inversión.

| Segunda Inversión |                       |
|-------------------|-----------------------|
| 1 Dispersora      | \$ 33.728.508         |
| Envasadora        | \$ 59.444.880         |
| Envolvedora       | \$ 10.230.000         |
| Automatización    | \$ 144.217.567,08     |
| <b>Total</b>      | <b>\$ 247.620.955</b> |

*Tabla 45 - Resumen segunda inversión*

### 6.2.3 Tercera etapa.

Esta es la última etapa de la inversión, no es parte de la inversión inicial, es una inversión realizada para llegar al máximo de producción de la empresa.

| Tercer Inversión |                       |
|------------------|-----------------------|
| 2 Dispersoras    | \$ 67.457.016         |
| Batch            | \$ 38.768.400         |
| Automatización   | \$ 144.217.567        |
| <b>Total</b>     | <b>\$ 250.442.983</b> |

*Tabla 46 - Resumen tercera inversión*

## 6.3 Ingresos

Debido a que la fábrica solo producirá dos modelos que tienen precio similar, los ingresos se verán reflejados solo en la venta de estos, es decir, la cantidad de baldes de pintura vendidos.

Se detalla mes a mes la cantidad de producto vendido, considerando que las ventas se incrementarán cuando se realicen las inversiones. También se mostrará un cuadro resumen

de manera anual. El precio por producto es de \$ 110.000, el cual es inferior al precio promedio del mercado competidor de aislantes térmicos y membrana líquida.

| Ingreso |                 |                  |
|---------|-----------------|------------------|
| Mes     | Baldes Vendidos | Ingreso          |
| 0       | 0               | \$ 0             |
| 1       | 0               | \$ 0             |
| 2       | 0               | \$ 0             |
| 3       | 0               | \$ 0             |
| 4       | 0               | \$ 0             |
| 5       | 500             | \$ 55.000.000    |
| 6       | 500             | \$ 55.000.000    |
| 7       | 1000            | \$ 110.000.000   |
| 8       | 1000            | \$ 110.000.000   |
| 9       | 1250            | \$ 137.500.000   |
| 10      | 1500            | \$ 165.000.000   |
| 11      | 1500            | \$ 165.000.000   |
| 12      | 1500            | \$ 165.000.000   |
| 13      | 1800            | \$ 198.000.000   |
| 14      | 2000            | \$ 220.000.000   |
| 15      | 2000            | \$ 220.000.000   |
| 16      | 2000            | \$ 220.000.000   |
| 17      | 2000            | \$ 220.000.000   |
| 18      | 2000            | \$ 220.000.000   |
| 19      | 2000            | \$ 220.000.000   |
| 20      | 2000            | \$ 220.000.000   |
| 21      | 2000            | \$ 220.000.000   |
| 22      | 2000            | \$ 220.000.000   |
| 23      | 2000            | \$ 220.000.000   |
| 24      | 2000            | \$ 220.000.000   |
| 25      | 3000            | \$ 330.000.000   |
| 26      | 4000            | \$ 440.000.000   |
| 27      | 4000            | \$ 440.000.000   |
| 28      | 5000            | \$ 550.000.000   |
| 29      | 5000            | \$ 550.000.000   |
| 30      | 6000            | \$ 660.000.000   |
| 31      | 6000            | \$ 660.000.000   |
| 32      | 6000            | \$ 660.000.000   |
| 33      | 6000            | \$ 660.000.000   |
| 34      | 6000            | \$ 660.000.000   |
| 35      | 6000            | \$ 660.000.000   |
| 36      | 7000            | \$ 770.000.000   |
| 37      | 7000            | \$ 770.000.000   |
| 38      | 8000            | \$ 880.000.000   |
| 39      | 8000            | \$ 880.000.000   |
| 40      | 9000            | \$ 990.000.000   |
| 41      | 9000            | \$ 990.000.000   |
| 42      | 10000           | \$ 1.100.000.000 |
| 43      | 10000           | \$ 1.100.000.000 |
| 44      | 10000           | \$ 1.100.000.000 |
| 45      | 10000           | \$ 1.100.000.000 |
| 46      | 10000           | \$ 1.100.000.000 |
| 47      | 10000           | \$ 1.100.000.000 |
| 48      | 10000           | \$ 1.100.000.000 |

|    |       |                  |
|----|-------|------------------|
| 49 | 10000 | \$ 1.100.000.000 |
| 50 | 10000 | \$ 1.100.000.000 |
| 51 | 10000 | \$ 1.100.000.000 |
| 52 | 10000 | \$ 1.100.000.000 |
| 53 | 10000 | \$ 1.100.000.000 |
| 54 | 10000 | \$ 1.100.000.000 |
| 55 | 10000 | \$ 1.100.000.000 |
| 56 | 10000 | \$ 1.100.000.000 |
| 57 | 10000 | \$ 1.100.000.000 |
| 58 | 10000 | \$ 1.100.000.000 |
| 59 | 10000 | \$ 1.100.000.000 |
| 60 | 10000 | \$ 1.100.000.000 |

*Tabla 47 - Ingresos por ventas de baldes de pintura*

| Ingreso |                 |                   |
|---------|-----------------|-------------------|
| Año     | Baldes Vendidos | Ingreso           |
| 1       | 8750            | \$ 962.500.000    |
| 2       | 23800           | \$ 2.618.000.000  |
| 3       | 64000           | \$ 7.040.000.000  |
| 4       | 111000          | \$ 12.210.000.000 |
| 5       | 120000          | \$ 13.200.000.000 |

*Tabla 48 - Resumen de ingresos anuales*

## **6.4 Egresos**

Para determinar los egresos debemos tener en cuenta los distintos grupos. Por un lado, tenemos los insumos, donde están tanto la materia prima para realizar el producto como también los envases.

También se debe tener en cuenta la mano de obra, que en nuestro caso será fija ya que la iniciar todo será manual y se necesitara mucha mano de obra, y luego cuando la producción crezca estos empleados serán distribuidos en otros sectores.

Se deben tener en cuenta los servicios a pagar, estos son luz, agua, gas e impuestos, estos irán aumentando a medida que la producción lo haga.

Y, por último, se agregan los costos de los pagos de las cuotas para realizar la infraestructura y los costos de las inversiones.

Se muestra, al igual que en el apartado anterior, el cuadro de detalle mensual y el resumen anual.

| Egresos |                |               |              |               |                |                |
|---------|----------------|---------------|--------------|---------------|----------------|----------------|
| Mes     | Insumos        | Mano de obra  | Servicios    | Cuota Nave    | Inversión      | Total          |
| 0       | \$ 0           | \$ 0          | \$ 0         | \$ 0          | \$ 305.653.289 | \$ 305.653.289 |
| 1       | \$ 0           | \$ 0          | \$ 1.333.863 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 1.333.863   |
| 2       | \$ 0           | \$ 0          | \$ 1.333.863 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 1.333.863   |
| 3       | \$ 0           | \$ 0          | \$ 1.333.863 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 1.333.863   |
| 4       | \$ 0           | \$ 0          | \$ 1.333.863 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 1.333.863   |
| 5       | \$ 27.881.400  | \$ 22.500.000 | \$ 1.333.863 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 51.715.263  |
| 6       | \$ 27.881.400  | \$ 22.500.000 | \$ 1.333.863 | \$ 36.239.506 | \$ 0           | \$ 87.954.769  |
| 7       | \$ 55.762.800  | \$ 22.500.000 | \$ 1.333.863 | \$ 35.542.592 | \$ 0           | \$ 115.139.255 |
| 8       | \$ 55.762.800  | \$ 22.500.000 | \$ 1.333.863 | \$ 34.845.679 | \$ 0           | \$ 114.442.342 |
| 9       | \$ 69.703.500  | \$ 22.500.000 | \$ 1.333.863 | \$ 34.148.765 | \$ 0           | \$ 127.686.128 |
| 10      | \$ 83.644.200  | \$ 22.500.000 | \$ 1.333.863 | \$ 33.451.852 | \$ 0           | \$ 140.929.915 |
| 11      | \$ 83.644.200  | \$ 22.500.000 | \$ 1.333.863 | \$ 32.754.938 | \$ 0           | \$ 140.233.001 |
| 12      | \$ 83.644.200  | \$ 22.500.000 | \$ 1.333.863 | \$ 32.058.024 | \$ 0           | \$ 139.536.088 |
| 13      | \$ 100.373.040 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 31.361.111 | \$ 0           | \$ 159.569.603 |
| 14      | \$ 111.525.600 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 30.664.197 | \$ 0           | \$ 170.025.250 |
| 15      | \$ 111.525.600 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 29.967.284 | \$ 0           | \$ 169.328.336 |
| 16      | \$ 111.525.600 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 29.270.370 | \$ 0           | \$ 168.631.422 |
| 17      | \$ 111.525.600 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 28.573.457 | \$ 0           | \$ 167.934.509 |
| 18      | \$ 111.525.600 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 247.620.955 | \$ 386.982.007 |
| 19      | \$ 111.525.600 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 139.361.052 |
| 20      | \$ 111.525.600 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 139.361.052 |
| 21      | \$ 111.525.600 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 139.361.052 |
| 22      | \$ 111.525.600 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 139.361.052 |
| 23      | \$ 111.525.600 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 139.361.052 |
| 24      | \$ 111.525.600 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 139.361.052 |
| 25      | \$ 167.288.400 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 195.123.852 |
| 26      | \$ 223.051.200 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 250.886.652 |
| 27      | \$ 223.051.200 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 250.886.652 |
| 28      | \$ 278.814.000 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 306.649.452 |
| 29      | \$ 278.814.000 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 306.649.452 |
| 30      | \$ 334.576.800 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 362.412.252 |
| 31      | \$ 334.576.800 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 362.412.252 |
| 32      | \$ 334.576.800 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 362.412.252 |
| 33      | \$ 334.576.800 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 362.412.252 |
| 34      | \$ 334.576.800 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 362.412.252 |
| 35      | \$ 334.576.800 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 362.412.252 |
| 36      | \$ 390.339.600 | \$ 22.500.000 | \$ 5.335.452 | \$ 0          | \$ 250.442.983 | \$ 668.618.035 |
| 37      | \$ 390.339.600 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 420.842.778 |
| 38      | \$ 446.102.400 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 476.605.578 |
| 39      | \$ 446.102.400 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 476.605.578 |
| 40      | \$ 501.865.200 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 532.368.378 |
| 41      | \$ 501.865.200 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 532.368.378 |
| 42      | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 588.131.178 |
| 43      | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 588.131.178 |
| 44      | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 588.131.178 |
| 45      | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 588.131.178 |
| 46      | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 588.131.178 |
| 47      | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0          | \$ 0           | \$ 588.131.178 |

|    |                |               |              |      |      |                |
|----|----------------|---------------|--------------|------|------|----------------|
| 48 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |
| 49 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |
| 50 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |
| 51 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |
| 52 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |
| 53 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |
| 54 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |
| 55 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |
| 56 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |
| 57 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |
| 58 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |
| 59 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |
| 60 | \$ 557.628.000 | \$ 22.500.000 | \$ 8.003.178 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 588.131.178 |

Tabla 49 - Egresos totales

| Egreso |                  |                |               |                |                |                  |
|--------|------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|------------------|
| Año    | Insumos          | Mano de obra   | Servicios     | Cuota Nave     | Inversión      | Total            |
| 0      | \$ 0             | \$ 0           | \$ 0          | \$ 0           | \$ 305.653.289 | \$ 305.653.289   |
| 1      | \$ 487.924.500   | \$ 180.000.000 | \$ 16.006.357 | \$ 239.041.356 | \$ 0           | \$ 922.972.213   |
| 2      | \$ 1.327.154.640 | \$ 270.000.000 | \$ 64.025.427 | \$ 149.836.419 | \$ 247.620.955 | \$ 2.058.637.441 |
| 3      | \$ 3.568.819.200 | \$ 270.000.000 | \$ 64.025.427 | \$ 0           | \$ 250.442.983 | \$ 4.153.287.610 |
| 4      | \$ 6.189.670.800 | \$ 270.000.000 | \$ 96.038.140 | \$ 0           | \$ 0           | \$ 6.555.708.940 |
| 5      | \$ 6.691.536.000 | \$ 270.000.000 | \$ 96.038.140 | \$ 0           | \$ 0           | \$ 7.057.574.140 |

Tabla 50 - Resumen de egresos anuales

## 6.5 Flujo de fondos

Ya obtenidos los ingresos y egresos, es momento de comparar dichos valores y armar un flujo de fondos, también se mostrará en una tabla el flujo mensual y luego se resumirá en una tabla anual.

| Flujo de fondos |                  |                |                 |
|-----------------|------------------|----------------|-----------------|
| Mes             | Ingresos         | Egresos        | Flujo de fondos |
| 0               | \$ 0             | \$ 305.653.289 | -\$ 305.653.289 |
| 1               | \$ 0             | \$ 1.333.863   | -\$ 1.333.863   |
| 2               | \$ 0             | \$ 1.333.863   | -\$ 1.333.863   |
| 3               | \$ 0             | \$ 1.333.863   | -\$ 1.333.863   |
| 4               | \$ 0             | \$ 1.333.863   | -\$ 1.333.863   |
| 5               | \$ 55.000.000    | \$ 51.715.263  | \$ 3.284.737    |
| 6               | \$ 55.000.000    | \$ 87.954.769  | -\$ 32.954.769  |
| 7               | \$ 110.000.000   | \$ 115.139.255 | -\$ 5.139.255   |
| 8               | \$ 110.000.000   | \$ 114.442.342 | -\$ 4.442.342   |
| 9               | \$ 137.500.000   | \$ 127.686.128 | \$ 9.813.872    |
| 10              | \$ 165.000.000   | \$ 140.929.915 | \$ 24.070.085   |
| 11              | \$ 165.000.000   | \$ 140.233.001 | \$ 24.766.999   |
| 12              | \$ 165.000.000   | \$ 139.536.088 | \$ 25.463.912   |
| 13              | \$ 198.000.000   | \$ 159.569.603 | \$ 38.430.397   |
| 14              | \$ 220.000.000   | \$ 170.025.250 | \$ 49.974.750   |
| 15              | \$ 220.000.000   | \$ 169.328.336 | \$ 50.671.664   |
| 16              | \$ 220.000.000   | \$ 168.631.422 | \$ 51.368.578   |
| 17              | \$ 220.000.000   | \$ 167.934.509 | \$ 52.065.491   |
| 18              | \$ 220.000.000   | \$ 386.982.007 | -\$ 166.982.007 |
| 19              | \$ 220.000.000   | \$ 139.361.052 | \$ 80.638.948   |
| 20              | \$ 220.000.000   | \$ 139.361.052 | \$ 80.638.948   |
| 21              | \$ 220.000.000   | \$ 139.361.052 | \$ 80.638.948   |
| 22              | \$ 220.000.000   | \$ 139.361.052 | \$ 80.638.948   |
| 23              | \$ 220.000.000   | \$ 139.361.052 | \$ 80.638.948   |
| 24              | \$ 220.000.000   | \$ 139.361.052 | \$ 80.638.948   |
| 25              | \$ 330.000.000   | \$ 195.123.852 | \$ 134.876.148  |
| 26              | \$ 440.000.000   | \$ 250.886.652 | \$ 189.113.348  |
| 27              | \$ 440.000.000   | \$ 250.886.652 | \$ 189.113.348  |
| 28              | \$ 550.000.000   | \$ 306.649.452 | \$ 243.350.548  |
| 29              | \$ 550.000.000   | \$ 306.649.452 | \$ 243.350.548  |
| 30              | \$ 660.000.000   | \$ 362.412.252 | \$ 297.587.748  |
| 31              | \$ 660.000.000   | \$ 362.412.252 | \$ 297.587.748  |
| 32              | \$ 660.000.000   | \$ 362.412.252 | \$ 297.587.748  |
| 33              | \$ 660.000.000   | \$ 362.412.252 | \$ 297.587.748  |
| 34              | \$ 660.000.000   | \$ 362.412.252 | \$ 297.587.748  |
| 35              | \$ 660.000.000   | \$ 362.412.252 | \$ 297.587.748  |
| 36              | \$ 770.000.000   | \$ 668.618.035 | \$ 101.381.965  |
| 37              | \$ 770.000.000   | \$ 420.842.778 | \$ 349.157.222  |
| 38              | \$ 880.000.000   | \$ 476.605.578 | \$ 403.394.422  |
| 39              | \$ 880.000.000   | \$ 476.605.578 | \$ 403.394.422  |
| 40              | \$ 990.000.000   | \$ 532.368.378 | \$ 457.631.622  |
| 41              | \$ 990.000.000   | \$ 532.368.378 | \$ 457.631.622  |
| 42              | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822  |
| 43              | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822  |
| 44              | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822  |
| 45              | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822  |
| 46              | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822  |
| 47              | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822  |

|    |                  |                |                |
|----|------------------|----------------|----------------|
| 48 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |
| 49 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |
| 50 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |
| 51 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |
| 52 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |
| 53 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |
| 54 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |
| 55 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |
| 56 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |
| 57 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |
| 58 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |
| 59 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |
| 60 | \$ 1.100.000.000 | \$ 588.131.178 | \$ 511.868.822 |

Tabla 51 - Flujo de fondos

| Año | Flujo de fondos  |
|-----|------------------|
| 0   | -\$ 305.653.289  |
| 1   | \$ 39.527.787    |
| 2   | \$ 559.362.559   |
| 3   | \$ 2.886.712.390 |
| 4   | \$ 5.654.291.060 |
| 5   | \$ 6.142.425.860 |

Tabla 52 - Resumen anual flujo de fondos

## 6.6 Indicadores

En esta sección se determinará la factibilidad económica del proyecto, para esto nos apoyaremos en tres indicadores que nos reflejan lo dicho anteriormente, estos son tres: el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de retorno de la inversión (PIR).

### 6.6.1 Valor actual neto

### 6.6.1 Valor actual neto.

Este indicador representa el valor actualizado neto del flujo de cajas originados por una inversión, para que este valor se considere satisfactorio debe ser mayor a 0. Para realizar este análisis de tomo un periodo de 3 años.

Se utilizará la siguiente ecuación para realizar el cálculo:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+d)^t} - I_0$$

t es el periodo

Ft es el flujo de fondos

Io es la inversión inicial

d es la tasa de descuento que viene dada por la ecuación  $d = \frac{i}{1+i}$

i es el interés anual

Teniendo en cuenta una tasa de interés anual del 33%, que es lo ofrecido por los bancos a la fecha, y considerando el flujo de fondos en periodos anual, obtengo que el ban del proyecto a 3 años es de **\$ 1.569.772.205**.

Este valor no nos asegura la viabilidad económica del proyecto al 100% pero es un buen indicio.

### 6.6.2 Tasa interna de retorno.

Este indicador representará el rendimiento que tendrá el proyecto, esto se realiza para poder comparar con otras opciones de inversión como por ejemplo un plazo fijo.

Si recordamos la ecuación del cálculo del VAN, cuando encontramos el valor de la tasa de descuento (d) que hace al VAN igual a 0, se puede decir que encontramos el valor del TIR. Entonces este valor se puede obtener por la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

Este valor se obtiene a través de software y para nuestro flujo de fondos en el periodo de 3 años es de **144,99%**.

Si comparamos este valor con el de un plazo fijo, que al día de la fecha otorga una rentabilidad de 33% anual, podemos decir que tenemos una mayor rentabilidad con nuestro proyecto.

### 6.6.3 Periodo de retorno.

Para determinar el tiempo en el que se recuperará la inversión realizada se realiza un gráfico con los flujos de fondos acumulados, este se muestra a continuación:

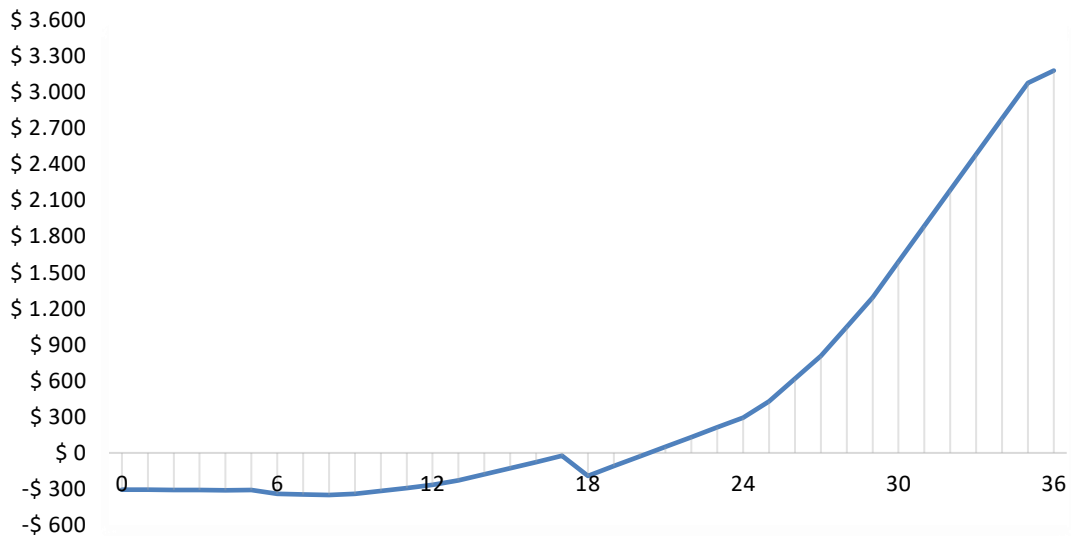


Imagen 137 - Gráfico de retorno de inversión

Como se puede observar inicialmente tenemos un flujo de fondos constante hasta el mes 6, esto se debe a que los primeros 5 meses se estará montando la nave industrial y poniendo a punto las máquinas para iniciar la producción.

Luego hasta el mes 17 se ve un crecimiento y una caída en el mes 18, esto es debido a la segunda etapa de inversión.

A partir del mes 19 el crecimiento es cada vez mayor debido a la mayor producción, alcanzando el repago total del proyecto a año y 9 meses.

Finalmente, a los 3 años se notará una leve caída en la pendiente debido la última inversión.

## **7 Conclusión**

A medida que fuimos desarrollando el proyecto, en cada una de sus etapas, fuimos obteniendo algunas conclusiones.

Desde el punto de vista del análisis de mercado, los productos que se llevaría a cabo tienen una gran aceptación, tanto a nivel local, como nacional. Mientras que, desde el punto de vista técnico, la planta productiva es innovadora y esta desarrolladas bajo las buenas prácticas de la ingeniería.

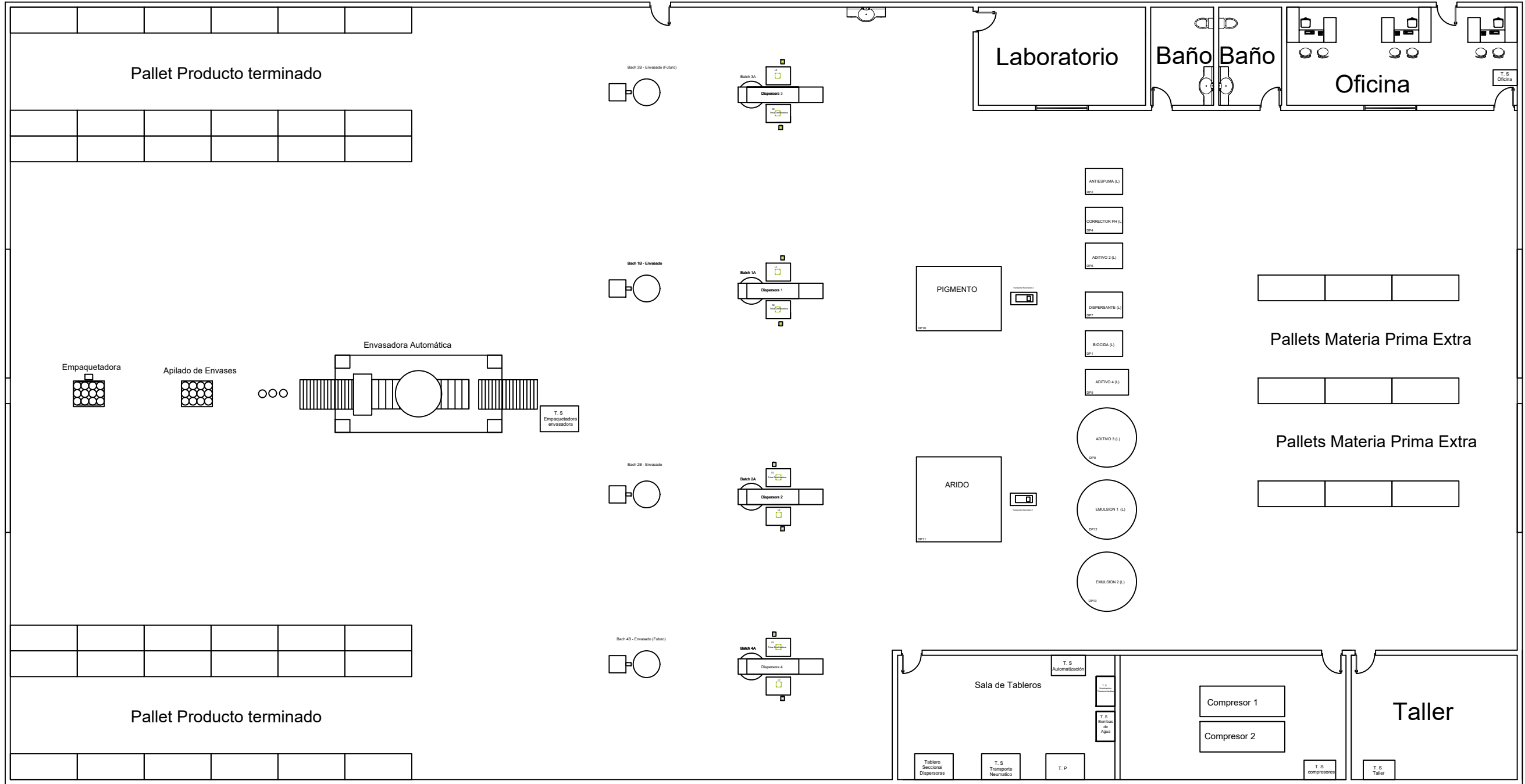
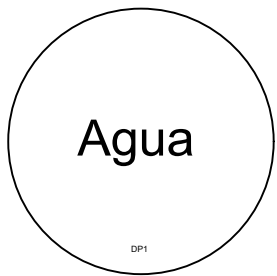
Teniendo en cuenta los resultados del análisis económico y financiero, con sus respectivos indicadores, creemos que es llevar a cabo este proyecto es una gran oportunidad de inversión, tanto para la empresa, como para los inversionistas que estén interesados.

Para ir finalizando, desde el punto de vista académico, llevar a cabo este proyecto fue una gran experiencia para nosotros, ya que nos permitió abarcar muchas áreas del conocimiento de la Ingeniería Electromecánica, trabajar en equipo con futuros colegas del área y explorar nuevos campos del conocimiento.

## 8 Bibliografía

- [1] Grupo DISAL, “Mercado de Pinturas”. 2021. Fuente: [https://www.bacs.com.ar/newsletters/colocaciones/Disal%20CD/Presentacion%20Tersuave\\_2022\\_18.11.22.pdf](https://www.bacs.com.ar/newsletters/colocaciones/Disal%20CD/Presentacion%20Tersuave_2022_18.11.22.pdf)
- [2] xmastv, “Sorbalok invierte en un robot de desarrollo local”. 2019. Fuente: [https://www.youtube.com/watch?v=kmxe2oygC5g&ab\\_channel=xmastv](https://www.youtube.com/watch?v=kmxe2oygC5g&ab_channel=xmastv)
- [3] UTN Facultad Regional Paraná, Hidráulica General y Aplicada, Tablas y Formulas. 2012.
- [4] UTN Facultad Regional Paraná, Manejo de Materiales, Apuntes de catedra. 2020.
- [5] INFOLEG, Ministerio de Justicia de la Nación “ANEXO IV correspondiente a los artículos 71 a 84 de la Reglamentación aprobada por Decreto N° 351/79”. Capítulo 12. Iluminación. 2021. Fuente: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/30000-34999/32030/dto351-1979-anexo4.htm>
- [6] AEA, Reglamento para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles AEA 90364-7-771. 2006.

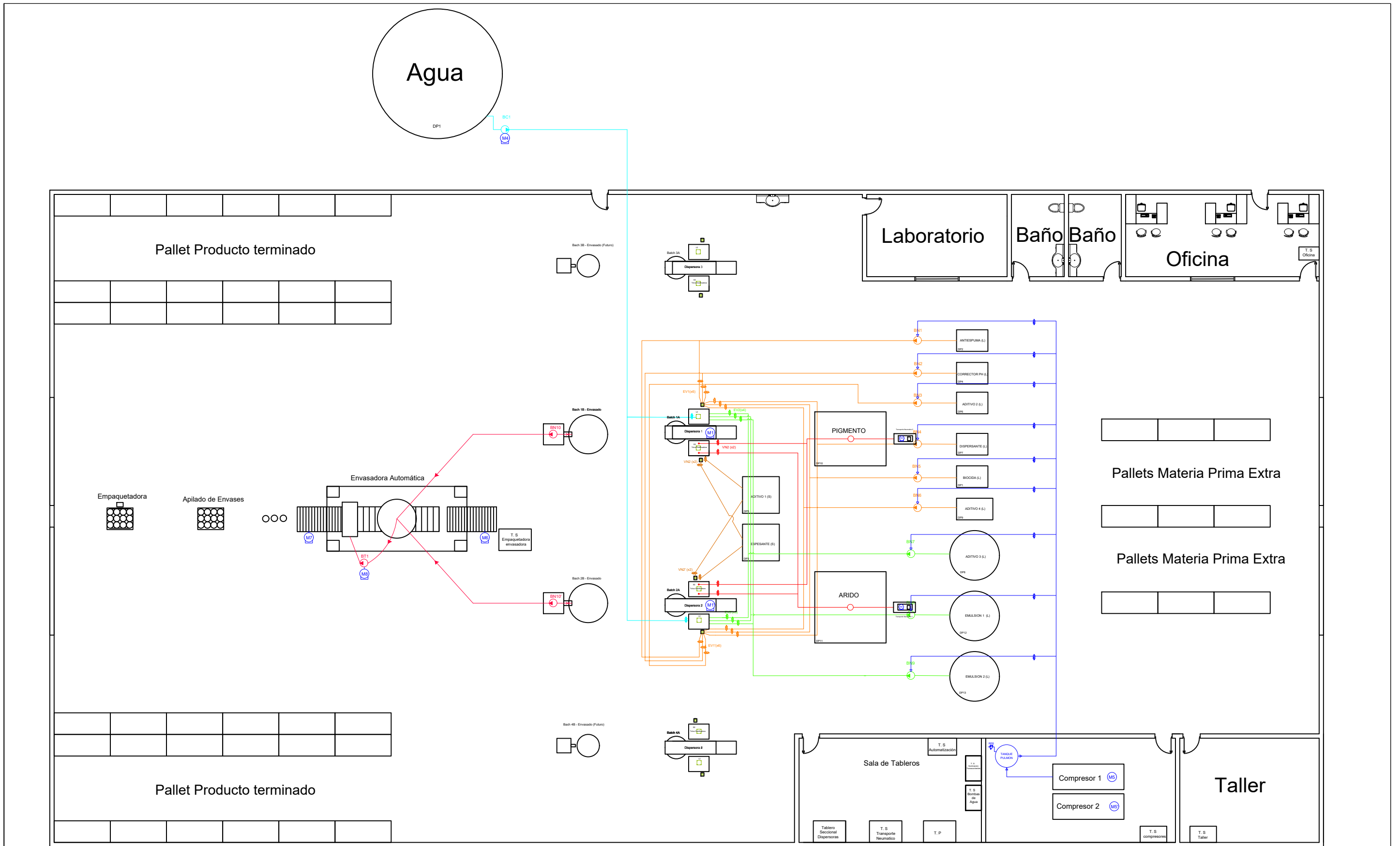
# **Anexos**



| Rev. n° | Fecha    | Detalle                       | Dibujó   |          |              |
|---------|----------|-------------------------------|----------|----------|--------------|
| A       | 12/02/25 | Planos ejecutivos de proyecto | Proyectó | 10/08/24 | Muller-Weber |
|         |          |                               | Aprobó   | 12/2/25  | Muller-Weber |
|         |          |                               |          |          |              |
|         |          |                               |          |          |              |
|         |          |                               |          |          |              |

**Fábrica de Pinturas**

Denominación: Layout de planta  
 Plano: Hoja: 1



| Rev. n° | Fecha    | Detalle                       | Dibujó   |          |              |
|---------|----------|-------------------------------|----------|----------|--------------|
| A       | 12/02/25 | Planos ejecutivos de proyecto | Proyectó | 10/08/24 | Muller-Weber |
|         |          |                               | Aprobó   | 12/2/25  | Muller-Weber |
|         |          |                               |          |          |              |
|         |          |                               |          |          |              |
|         |          |                               |          |          |              |
|         |          |                               |          |          |              |

# Fábrica de Pinturas

Denominación: Layout cañerías

Plano: Hoja: 2

## Referencias Actuadores

EV1: Electrovalvulas Dosificacion Tolva Liquidos Livianos (L1) Dispensora 1  
 EV1': Electrovalvulas Dosificacion Tolva Liquidos Livianos (L1) Dispensora 2  
 EV2: Electrovalvulas Dosificacion Tolva Liquidos Pesados (L2) Dispensora 1  
 EV2': Electrovalvulas Dosificacion Tolva Liquidos Pesados (L2) Dispensora 2  
 VN1: Electrovalvulas Dosificacion Tolva Solidos Livianos (S1) Dispensora 1  
 VN1': Electrovalvulas Dosificacion Tolva Solidos Livianos (S1) Dispensora 2  
 VN2: Electrovalvulas Dosificacion Tolva Solidos Pesados (S2) Dispensora 1  
 VN2': Electrovalvulas Dosificacion Tolva Solidos Pesados (S2) Dispensora 2

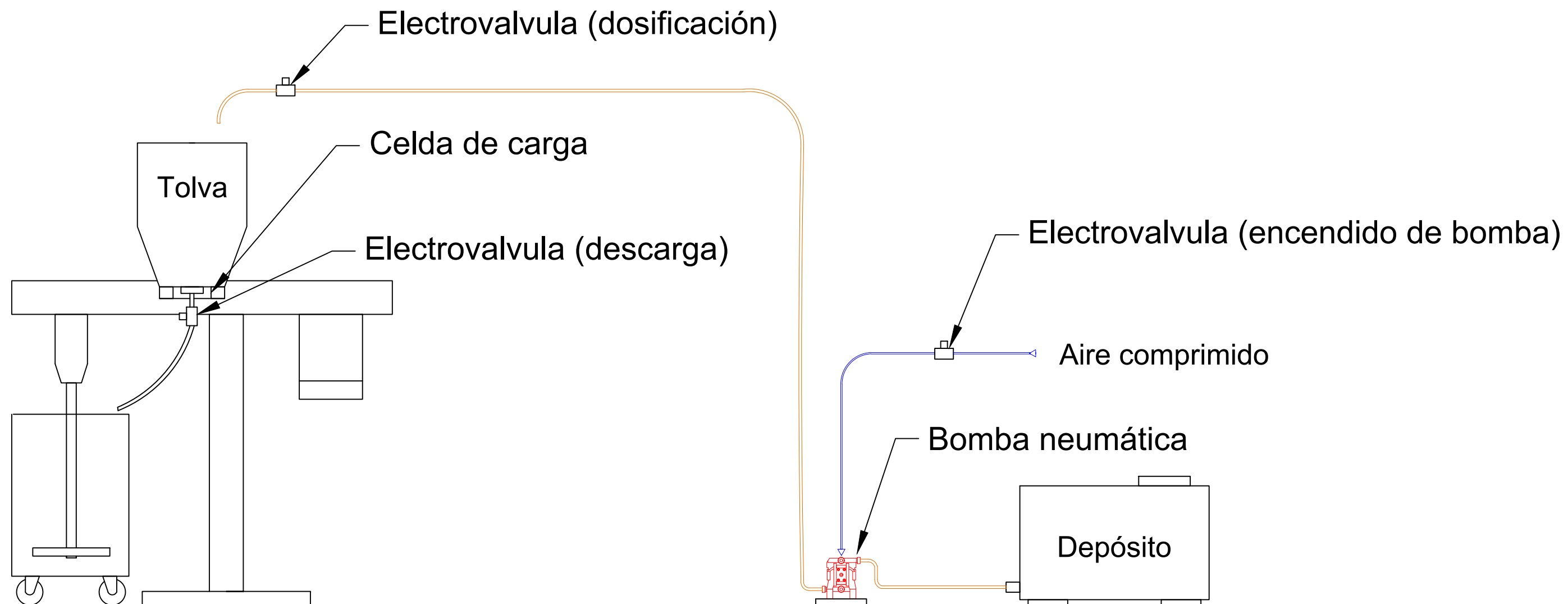
## Referencias Motores

M1: Motor 20kW Dispensora 1  
 M1': Motor 20kW Dispensora 2  
 M2: Motor 15 kW Transporte Neumatico 1  
 M3: Motor 11 kW Transporte Neumatico 2  
 M4: Motor 5 kW Bomba Centrifuga  
 M5: Motor de 7,5 kW Compresor 1  
 M5': Motor de 7,5 kW Compresor 2  
 M6: Motor de 0,3 kW Mesa de Entrada Embasadora  
 M7: Motor de 1,5 CV Mesa de Salida Embasadora  
 M8: Motor de 5 kW sobrealimentador Embasadora  
 M9: Motor de 1 kW Bomba centrifuga

## Referencias Bombas

BN1: Bomba Neumática Antiespuma  
 BN2: Bomba Neumática Corrector PH  
 BN3: Bomba Neumática Aditivo 2  
 BN4: Bomba Neumática Dispersante  
 BN5: Bomba Neumática Biocida  
 BN6: Bomba Neumática Biocida  
 BN7: Bomba Neumática Aditivo 3  
 BN8: Bomba a Neumática Emulsión 1  
 BN9: Bomba a Neumática Emulsión 2  
 BC1: Bomba Centrífuga Agua

|  |         |          |                               |                     |          |                |               |         |  |
|--|---------|----------|-------------------------------|---------------------|----------|----------------|---------------|---------|--|
|  | Rev. n° | Fecha    | Detalle                       | Dibujó              | 12/02/25 | Muller - Weber | Denominación: |         |  |
|  | A       | 12/02/25 | Planos ejecutivos de Proyecto | Proyectó            | 10/08/24 | Muller - Weber | Referencias   |         |  |
|  |         |          |                               | Aprobó              | 12/02/25 | Muller - Weber | Plano:        | Hoja: 3 |  |
|  |         |          |                               | Fábrica de Pinturas |          |                |               |         |  |
|  |         |          |                               |                     |          |                |               |         |  |
|  |         |          |                               |                     |          |                |               |         |  |
|  |         |          |                               |                     |          |                |               |         |  |



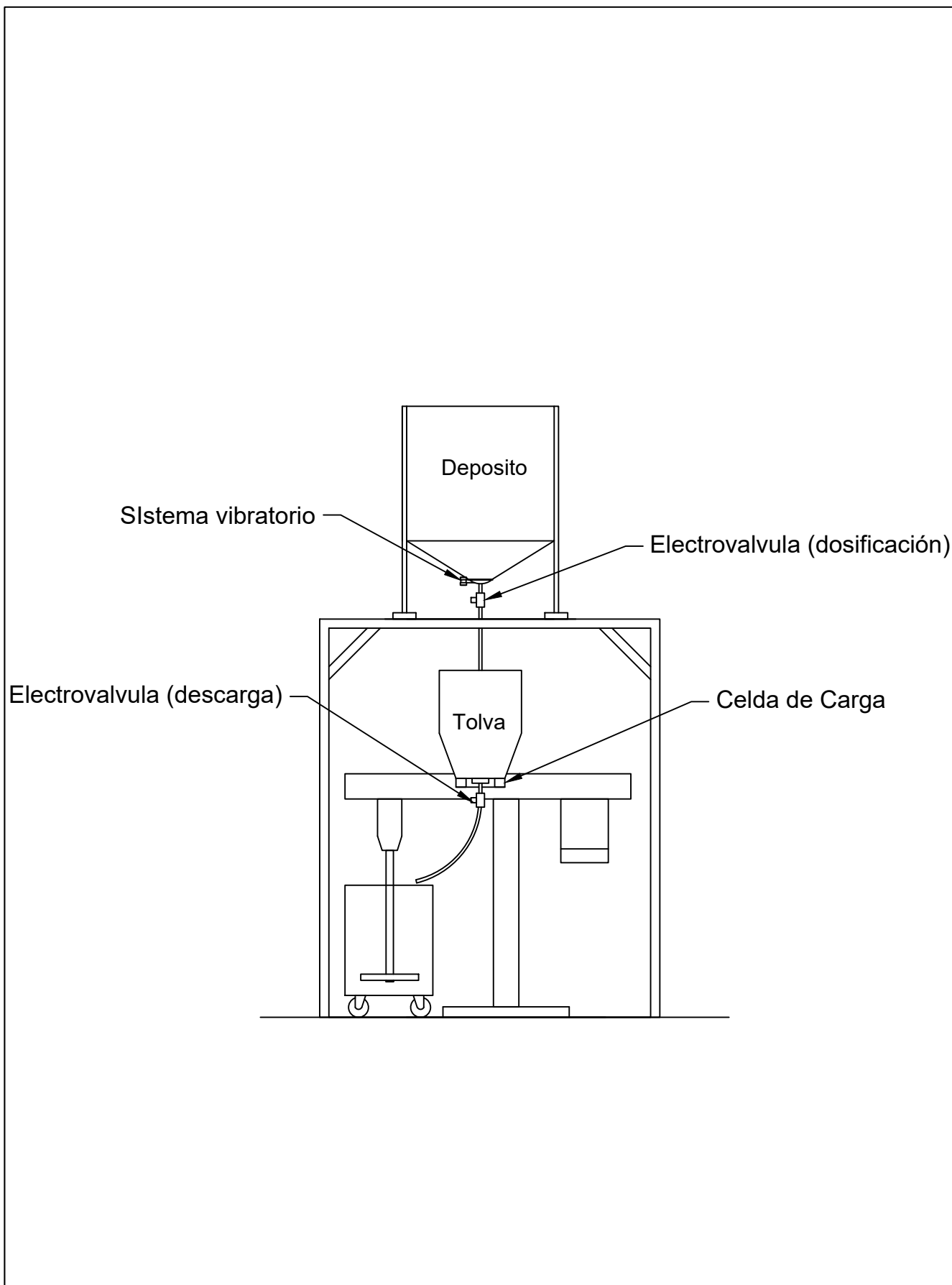
| Rev. n° | Fecha    | Detalle                       | Dibujó   |          |              |
|---------|----------|-------------------------------|----------|----------|--------------|
| A       | 12/02/25 | Planos ejecutivos de proyecto | Proyectó | 10/08/24 | Muller-Weber |
|         |          |                               | Aprobó   | 12/2/25  | Muller-Weber |
|         |          |                               |          |          |              |
|         |          |                               |          |          |              |
|         |          |                               |          |          |              |

Fábrica  
de  
Pinturas

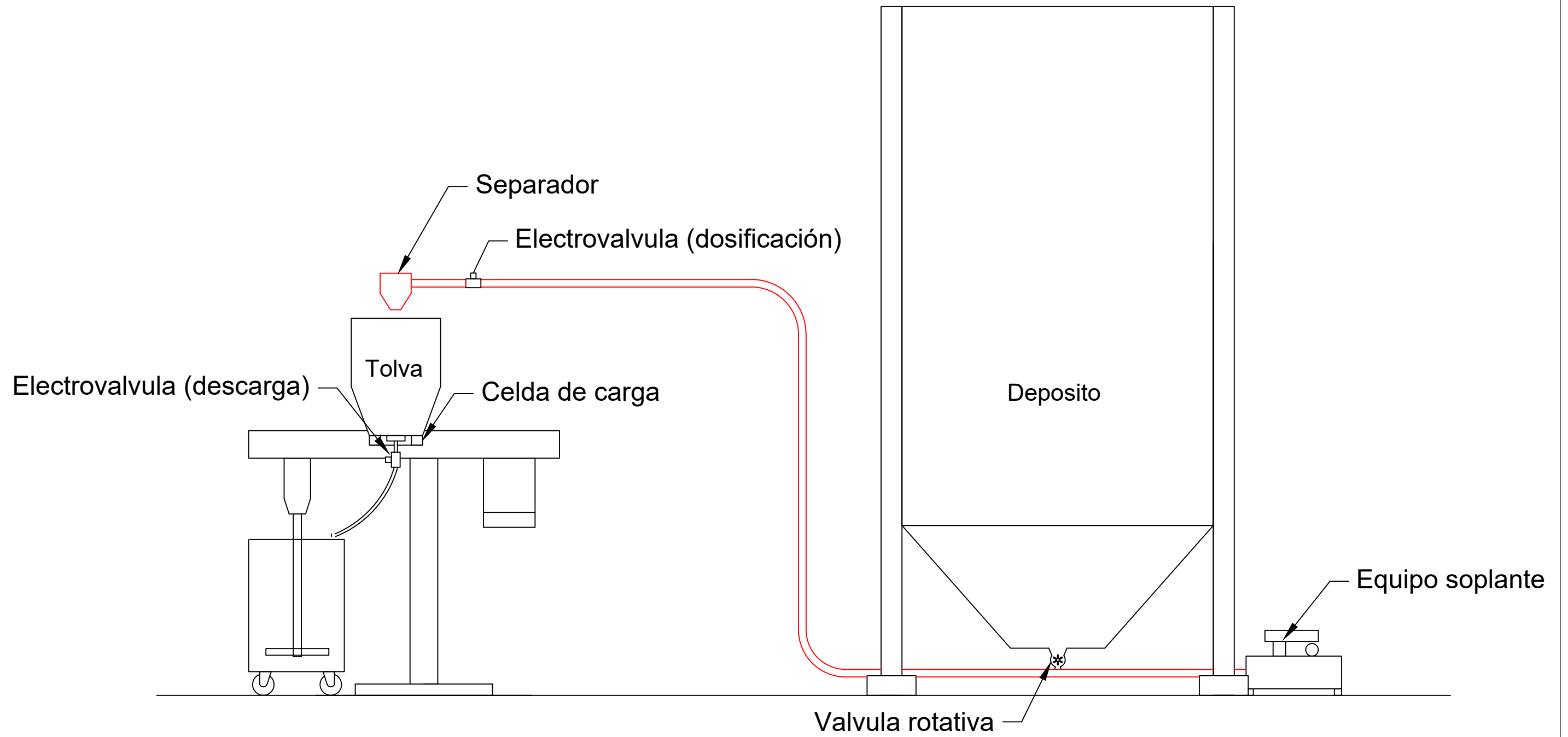
Denominación: Vista lateral dosificación de líquidos

Plano:

Hoja: 4



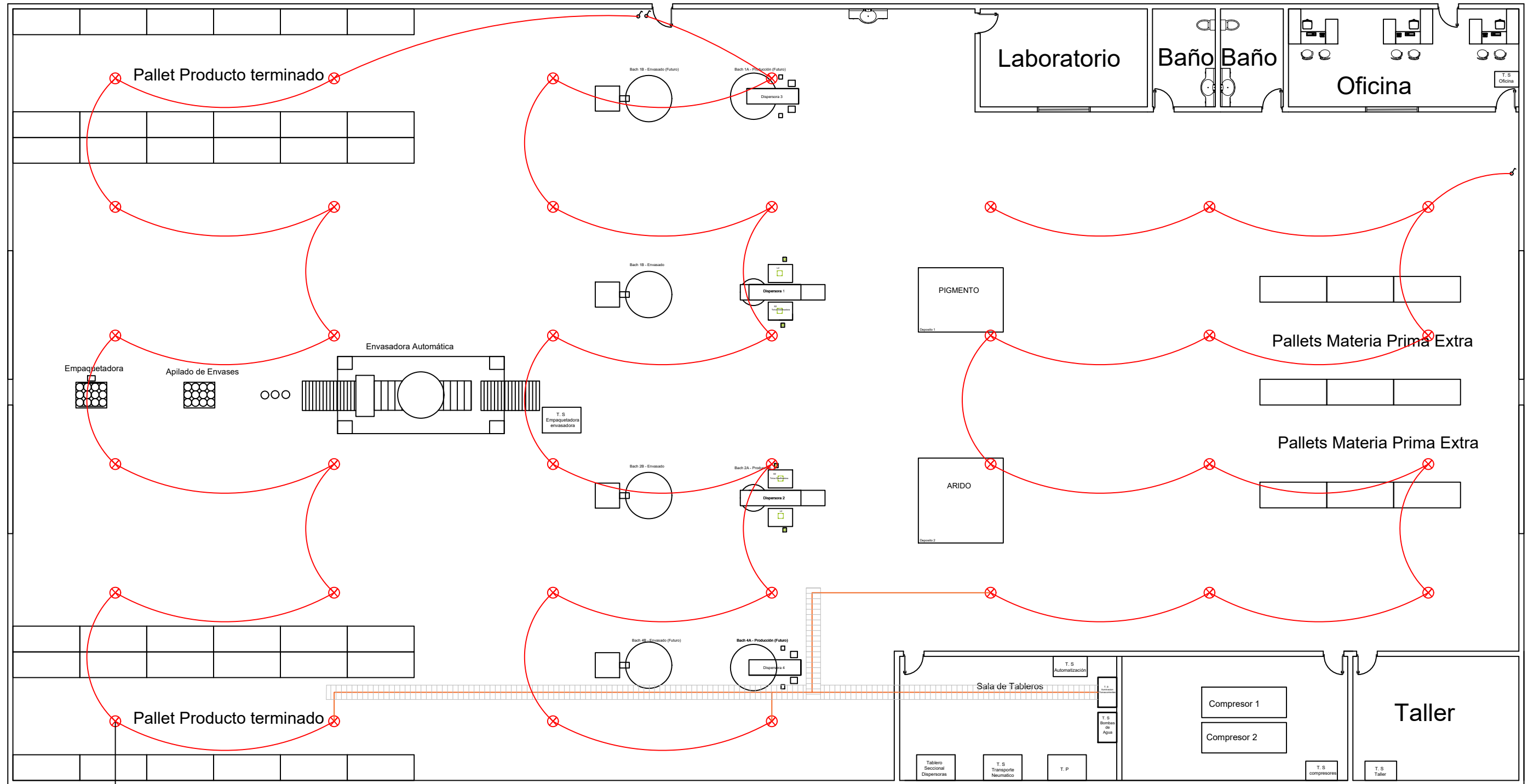
|  |         |          |                               |                     |          |                |   |         |
|--|---------|----------|-------------------------------|---------------------|----------|----------------|---|---------|
|  | Rev. n° | Fecha    | Detalle                       | Dibujó              | 12/02/25 | Muller - Weber | Denominación:                               |         |
|  | A       | 12/02/25 | Planos ejecutivos de Proyecto | Proyectó            | 10/08/24 | Muller - Weber | Vista lateral dosificación sólidos livianos |         |
|  |         |          |                               | Aprobó              | 12/02/25 | Muller - Weber | Plano:                                      | Hoja: 5 |
|  |         |          |                               | Fábrica de Pinturas |          |                |   |         |
|  |         |          |                               |                     |          |                |   |         |
|  |         |          |                               |                     |          |                |   |         |
|  |         |          |                               |                     |          |                |   |         |



|  |         |          |                               |          |          |              |                                    |   |         |
|--|---------|----------|-------------------------------|----------|----------|--------------|------------------------------------|---|---------|
|  | Rev. n° | Fecha    | Detalle                       | Dibujó   | 12/2/25  | Muller-Weber | <b>Fábrica<br/>de<br/>Pinturas</b> | Denominación: Vista lateral dosificación de sólidos pesados |         |
|  | A       | 12/02/25 | Planos ejecutivos de proyecto | Proyectó | 10/08/24 | Muller-Weber |                                    | Plano:  | Hoja: 6 |
|  |         |          |                               | Aprobó   | 12/2/25  | Muller-Weber |                                    |   |         |
|  |         |          |                               |          |          |              |                                    |   |         |
|  |         |          |                               |          |          |              |                                    |   |         |



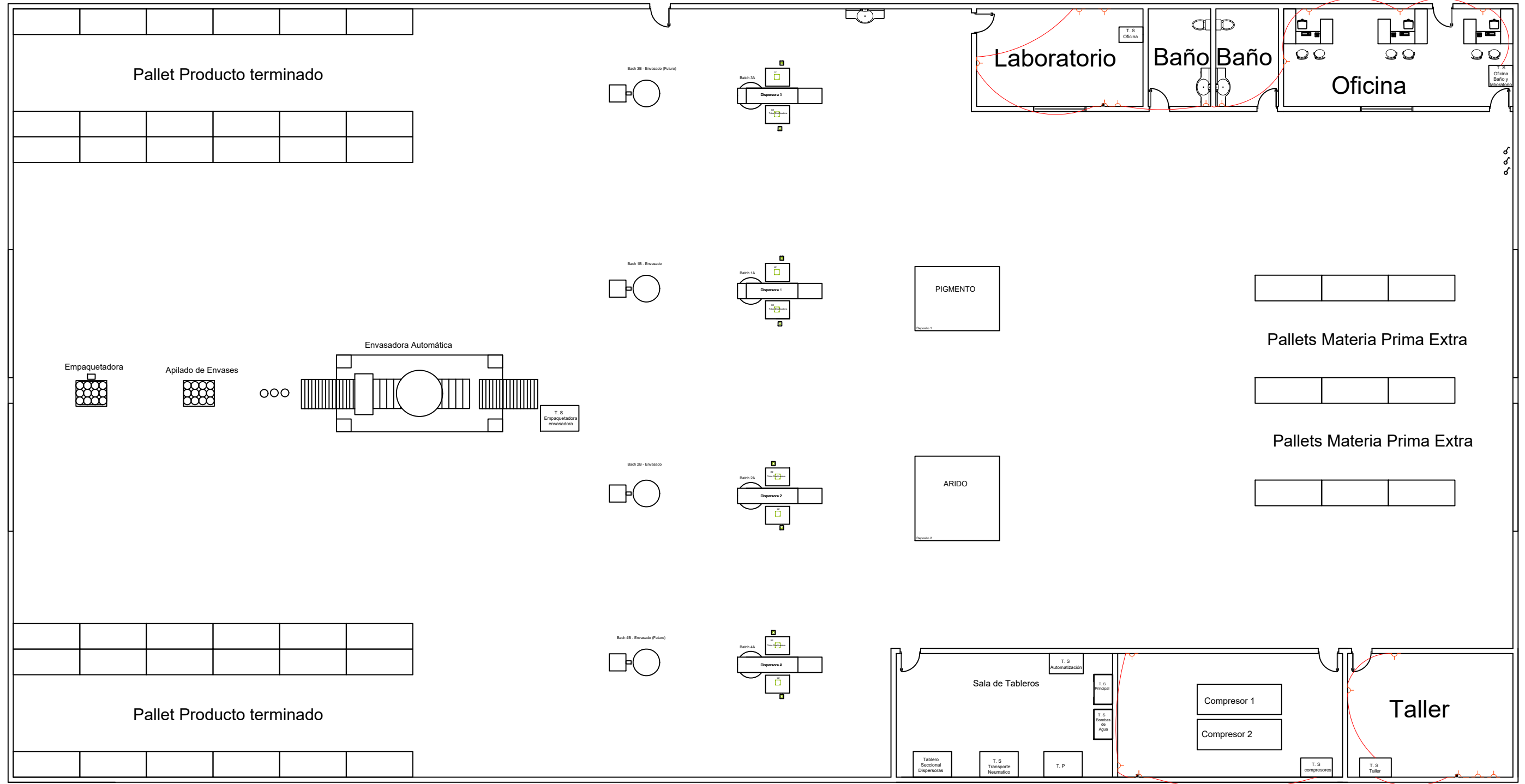




| Rev. n° | Fecha    | Detalle                       | Dibujó   | Fecha    | Nombre       |
|---------|----------|-------------------------------|----------|----------|--------------|
| A       | 12/02/25 | Planos ejecutivos de proyecto | Proyectó | 10/08/24 | Muller-Weber |
|         |          |                               | Aprobó   | 12/2/25  | Muller-Weber |
|         |          |                               |          |          |              |
|         |          |                               |          |          |              |
|         |          |                               |          |          |              |

**Fábrica de Pinturas**

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| Denominación: Layout Iluminación | Hoja: 9 |
| Plano:                           |         |



| Rev. n° | Fecha    | Detalle                       | Dibujó   |          |              |
|---------|----------|-------------------------------|----------|----------|--------------|
| A       | 12/02/25 | Planos ejecutivos de proyecto | Proyectó | 10/08/24 | Muller-Weber |
|         |          |                               | Aprobó   | 12/2/25  | Muller-Weber |
|         |          |                               |          |          |              |
|         |          |                               |          |          |              |
|         |          |                               |          |          |              |

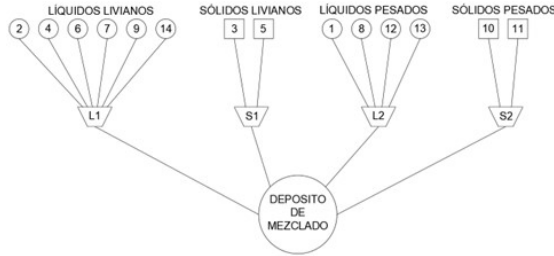
# Fábrica de Pinturas

|                                     |          |
|-------------------------------------|----------|
| Denominación: Layout tomacorrientes |          |
| Plano:                              | Hoja: 10 |



## Cálculos de fluidos

Para comenzar con la verificación de cañerías, recordamos el proceso productivo:



| ITEMS | Referencia              |
|-------|-------------------------|
| 1     | AGUA                    |
| 2     | ANTIESPUMA              |
| 3     | ESPEZANTE               |
| 4     | CORRECTOR DE PH         |
| 5     | ADITIVO 1               |
| 6     | ADITIVO 2               |
| 7     | DISPERSANTE             |
| 8     | ADITIVO 3               |
| 9     | ADITIVO 4               |
| 10    | PIGMENTO                |
| 11    | ARIDO                   |
| 12    | EMULSION 1              |
| 13    | EMULSION 2              |
| 14    | FUNGICIDA y BACTERISIDA |

### Circuitos de líquidos livianos

Se selecciona cañerías de 3/4" y se realiza el calculo de la altura mínima a vencer por la bomba. De esta manera verificamos que el sistema funcione.

Para los datos de tabla utilizaremos los apuntes de la catedra Mecánica de Fluidos

#### Datos

Diámetro de la cañería:

$$D_1 := 26.7 \text{ mm} - 2 \cdot 2.87 \text{ mm} = 20.96 \text{ mm}$$

Material: Acero al carbono

Bomba a verificar:

#### Resumen del modelo no metálico

¡Ya se pueden actualizar todas las bombas de PD no metálicas de 1/4" (6,35 mm) a 3" (76,2 mm)!

Las bombas PD están diseñadas de tal manera que la electrónica, la medición de caudal y la detección de fugas se pueden agregar posteriormente. A medida que sus procesos maduran, esta posibilidad le permite mejorar los procesos manuales e incorporar otras funciones de control y supervisión. Simplemente deberá quitar dos tapones y reemplazarlos por un sensor de proximidad y/o un detector de fuga. Una vez que realice la actualización, estos componentes también se pueden integrar fácilmente con el controlador AIO.

UPGRADE  
HUB OF FUTURE  
ACTUATOR CAPABILITY



| Modelos                                       | No metálico de 1/4"                           | No metálico de 3/8"                           | No metálico de 1/2"                           | No metálico de 1/2"                           | No metálico de 3/4"                             | No metálico de 1"   | No metálico de 1-1/2"                          | No metálico de 2"   | No metálico de 3"                               |
|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|
| Caudal máximo en gpm (lpm)                    | 5.3 (20)                                      | 10.6 (40.1)                                   | 14.4 (54.5)                                   | 13 (49.2)                                     | 14.8 (56)                                       | 53 (200)  | 123 (465)                                      | 184 (696)   | 285 (1078)                                      |
| Presión máxima de descarga en psi (bar)       | 125 (8.6)                                     | 100 (6.8)                                     | 100 (6.8)                                     | 100 (6.9)                                     | 100 (6.8)                                       | 120 (8.3)   | 120 (8.3)                                      | 120 (8.3)   | 120 (8.3)                                       |
| Entrada/salida de los puertos de fluido (bsp) | 1/4" NPTF/BSPT & 3/4" NPTF/BSPT               | 3/8 - 1/2 NPTF - 1/2 Rp 3/8 DIN - 1/2 BSPT    | 1/2 - 1/4 NPTF - 1/2 Rp 1/2 DIN - 1/2 BSPT    | 1/2-1/4 NPTF-1/2                              | 3/4 - 1/4 NPTF-1/2 Rp 3/4 DIN-1/4 BSPT paralelo | Brida ANSI/DIN de 3 in (General o central)                  | Brida ANSI/DIN de 1-1/2 in (General o central) | Brida ANSI/DIN de 2 in (descarga lateral)                   | Brida 3" ANSI (4 orificios) o DIN (8 orificios) |
| Material de construcción                      | Polipropileno Conectable a tierra Acetal PVDF | Polipropileno Conectable a tierra Acetal PVDF | Polipropileno Conectable a tierra Acetal PVDF | Polipropileno Conectable a tierra Acetal PVDF | Polipropileno                                   | Polipropileno PVDF Conductivo Polipropileno PVDF Conductivo | Polipropileno PVDF Conductivo Polipropileno    | Polipropileno PVDF Conductivo Polipropileno PVDF Conductivo | Polipropileno PVDF                              |

Utilizaremos una bomba a diafragma cuyos datos mas importante son:

$$Q := 56 \frac{l}{min}$$

$$P := 6.8 \text{ bar} \quad (\text{equivalente a } 70 \text{ mca})$$

Vamos a verificar los circuitos mas solicitados, estos son los de cañerías mas extensas y los líquidos mas viscosos.

El liquido mas viscoso es uno de los aditivos. La viscosidad según datos técnicos del proveedor ronda entre 16 y 20  $\frac{m^2}{s}$ .

Para la distancia se tiene en cuenta el tramo de cañería mas extenso, en este caso es la cañería de anti espuma, la cual es aproximadamente 40 metros. Combinaremos ambos datos para suponer una situación muy desfavorable:

Viscosidad cinemática aproximada del aditivo:  $\nu := 2 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$  (a 20°C)

Largo de la cañería:  $L := 40 m$

#### Perdidas por accesorios

Largo equivalente de accesorios: las obtenemos del Nomograma 2 de apunte de cátedra y consideramos 7 codos a 90° y una llave de paso abierta.

Perdida por cada codo:  $0.5 m$

Perdida por llave de paso  $0.2 m$

Perdida total por accesorio  $\Delta L_1 := 7 \cdot 0.5 m + 0.2 m = 3.7 m$

#### Cálculo el coeficiente de rugosidad absoluta

Rugosidad absoluta de cañería:  $k := 0.05 mm$  (Acero laminado nuevo-tabla 23)

Coficiente de rugosidad relativa:  $r := \frac{k}{D_1} = 0.002$

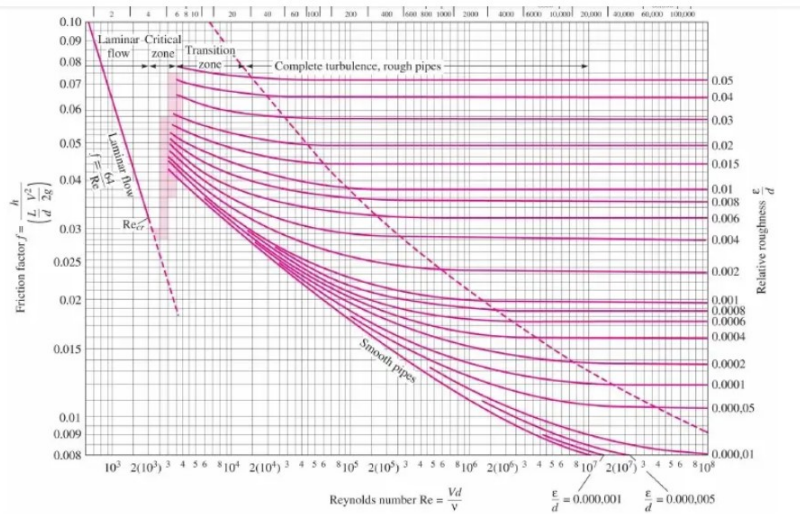
velocidad del fluido considerando un caudal máximo de la bomba:

$$V := \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D_1^2}{4}} = 2.705 \frac{m}{s}$$

Numero de Reynolds:

$$N_{re} := \frac{V \cdot D_1}{\nu} = 2.835 \cdot 10^4$$

En el diagrama de moody se obtiene el coeficiente de fricción utilizando el numero de reynold y la rugosidad relativa:



$$\lambda_1 := 0.035$$

Calculo de las perdidas a vencer:

$$H_{r1} := \frac{\lambda_1 \cdot (\Delta L_1 + L) \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D_1} = 27.223 \text{ m}$$

A esta altura equivalente en perdidas debe sumarse la altura estática, es decir la altura que debe elevarse el fluido. Como las tolvas se ubican a una altura de 4 metros con respecto al piso (donde esta la bomba)

$$H_{est1} := 4 \text{ m}$$

Entonces la perdida total es:

$$H_{T1} := H_{r1} + H_{est1} = 31.223 \text{ m}$$

Podemos concluir que este modelo de bomba y cañerías verifica para todos los circuitos de líquidos livianos

### Circuitos de líquidos Pesados

Se selecciona cañerías de 1 y 1/4 " y una bomba equivalente para ese diámetro de cañería. Luego se procede a verificar si es correcta esta elección. Los cálculos a realizar son iguales al caso anterior.

Datos

Diámetro de la cañería:  $D_2 := 42.2 \text{ mm} - 2 \cdot 3.56 \text{ mm} = 35.08 \text{ mm}$

Material: Acero al carbono

Bombas a verificar: en este caso tenemos 3 bombas a diafragma y una bomba centrifuga. Las primeras las verificaremos realizando primero la selección de las mismas, mientras que para la bomba centrifuga calcularemos la potencia necesaria de la misma.

Datos de la bomba a diafragma  $Q_2 := 184 \frac{l}{min}$

$P_2 := 8.3 \text{ bar}$  (equivale a 88 mca)

Las cañerías a verificar para las bombas a diafragma son las que llevan emulsiones, las cuales tienen aproximadamente 30 metros de distancia. El valor de viscosidad no lo conocemos pero lo supondremos desfavorablemente igual al doble del aditivo anterior.

Viscosidad cinemática aproximada de la emulsión:  $\nu_2 := 4 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

Largo de la cañería:  $L_2 := 30 \text{ m}$

Perdidas por accesorios

Largo equivalente de accesorios: las obtenemos del Nomograma 2 de apunte y consideramos 7 codos a 90° y una llave de paso abierta.

Perdida por cada codo:  $C_2 := 1 \text{ m}$

Perdida por llave de paso  $E_2 := 0.2 \text{ m}$

Perdida total por accesorio  $\Delta L_2 := 7 \cdot C_2 + E_2 = 7.2 \text{ m}$

Cálculo el coeficiente de rugosidad absoluta

Rugosidad absoluta de cañería:  $k_2 := 0.05 \text{ mm}$  (Acero laminado nuevo-tabla 23)

Coeficiente de rugosidad relativa:  $r_2 := \frac{k_2}{D_2} = 0.00143$

velocidad del fluido considerando un caudal máximo de la bomba:

$$V_2 := \frac{Q_2}{\frac{\pi \cdot D_2^2}{4}} = 3.173 \frac{m}{s}$$

Numero de Reynolds:

$$N_{re2} := \frac{V_2 \cdot D_2}{\nu_2} = 2.783 \cdot 10^4$$

En el diagrama de moody se obtiene el coeficiente de fricción utilizando el numero de reynold y la rugosidad relativa:

$$\lambda_2 := 0.045$$

Calculo de las perdidas a vencer:

$$H_{r2} := \frac{\lambda_2 \cdot (\Delta L_2 + L_2) \cdot V_2^2}{2 \cdot g \cdot D_2} = 24.494 \text{ m}$$

Altura estática:

$$H_{est2} := 4 \text{ m}$$

Entonces la perdida total es:

$$H_{T2} := H_{r2} + H_{est2} = 28.494 \text{ m}$$

Podemos concluir que este modelo de bomba y cañerías verifica para todos los circuitos de líquidos livianos

### Verificación de la bomba centrifuga

Diámetro de la cañería:

$$D_3 := 1.25 \text{ in}$$

Largo de la cañería

$$L_3 := 40 \text{ m}$$

Para el caudal supondremos 200 L/min, similar a las bombas anteriores.

$$Q_3 := 200 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

Viscosidad cinemática del agua

$$\nu_3 := 0.897 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad (\text{Tabla 20})$$

### Perdidas por accesorios

Largo equivalente de accesorios: las obtenemos del Nomograma 2 de apunte y consideramos 7 codos a 90° y una llave de paso abierta.

Perdida por cada codo:

$$C_3 := 1 \text{ m}$$

Perdida por llave de paso

$$E_3 := 0.2 \text{ m}$$

Perdida total por accesorio

$$\Delta L_3 := 7 \cdot C_2 + E_2 = 7.2 \text{ m}$$

### Cálculo el coeficiente de rugosidad absoluta

Rugosidad absoluta de cañería:  $k_3 := 0.05 \text{ mm}$  (Acero laminado nuevo-tabla 23)

Coefficiente de rugosidad relativa:  $r_3 := \frac{k_3}{D_3} = 0.00157$

velocidad del fluido considerando un caudal máximo de la bomba:

$$V_3 := \frac{Q_3}{\frac{\pi \cdot D_3^2}{4}} = 4.21 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Numero de Reynolds:

$$N_{re3} := \frac{V_3 \cdot D_3}{\nu_3} = 1.49 \cdot 10^5$$

En el diagrama de moody se obtiene el coeficiente de fricción utilizando el numero de reynold y la rugosidad relativa:

$$\lambda_3 := 0.024$$

Calculo de las perdidas a vencer:

$$H_{r3} := \frac{\lambda_3 \cdot (\Delta L_3 + L_3) \cdot V_3^2}{2 \cdot g \cdot D_3} = 32.245 \text{ m}$$

Altura estática:

$$H_{est3} := 4 \text{ m}$$

Entonces la altura total a vencer es:

$$H_{T3} := H_{r3} + H_{est3} = 36.245 \text{ m}$$

Calculo de la potencia mínima de la bomba:

Rendimiento global  $n := 0.7$

Densidad del agua:  $\rho := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Potencia de la bomba:

$$N_a := \frac{\rho \cdot Q_3 \cdot H_{T3} \cdot g}{n} = 1.693 \text{ kW}$$

Si buscamos en la tabla del fabricante una bomba que tenga al menos 1,4 kW y una capacidad de suministrar al menos 150 l/min de caudal.

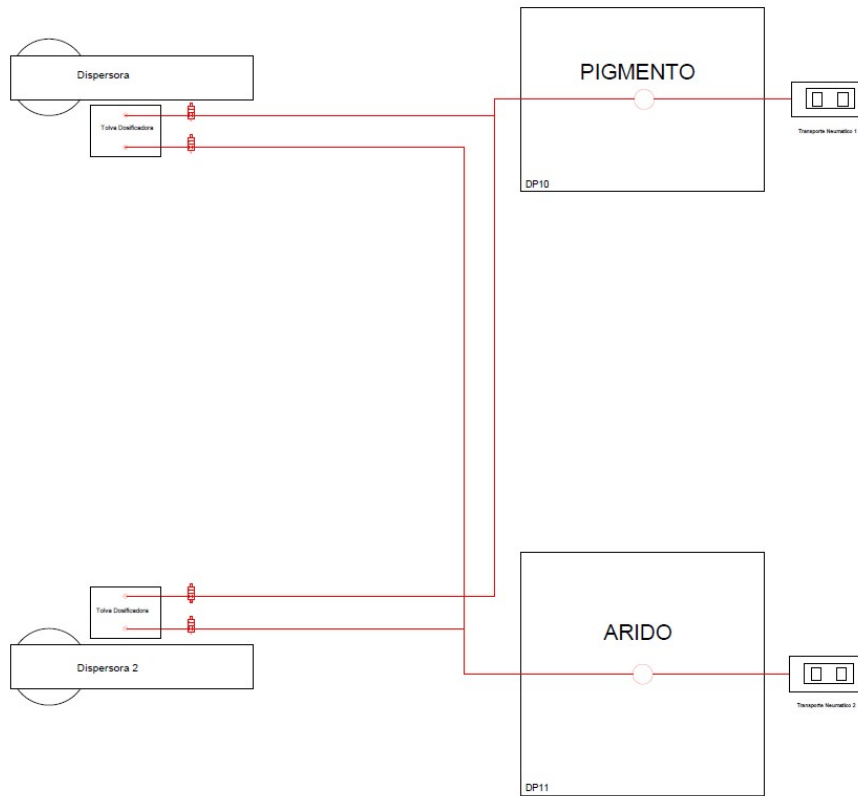
| Modelo         | HP   | Lts/min<br>m³/h | Q-Caudal  |             |           |             |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------|------|-----------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                |      |                 | 200<br>12 | 230<br>13,8 | 250<br>15 | 280<br>16,8 | 300<br>18 | 400<br>24 | 500<br>30 | 600<br>36 | 700<br>42 | 800<br>48 | 900<br>54 |
| EB-65-50-125-1 | 3,50 | H               | 22,3      | 21,9        | 21,7      | 21,4        | 21,2      | 21,0      | 18,0      | 14,0      | 9,5       |           |           |
| EB-65-50-125-2 | 3,50 |                 | 20,4      | 20,2        | 20,1      | 19,8        | 19,6      | 17,0      | 14,0      | 10,5      | 6,5       |           |           |
| EB-65-50-125-3 | 1,50 |                 | 15,6      | 15,4        | 15,2      | 15,0        | 14,9      | 12,8      |           |           |           |           |           |
| EB-65-50-125-4 | 1,50 |                 | 13,0      | 12,8        | 12,5      | 12,2        | 11,8      | 9,7       | 6,5       |           |           |           |           |
| EB-65-50-160-1 | 5,50 |                 | 32,5      | 32,5        | 32,5      | 32,5        | 32,5      | 32,0      | 32,1      | 28,0      |           |           |           |
| EB-65-50-160-2 | 5,50 |                 | 31,1      | 31,1        | 31,0      | 30,6        | 30,4      | 29,5      | 27,6      | 26,0      | 23,0      |           |           |
| EB-65-50-160-3 | 5,50 |                 | 26,5      | 26,5        | 26,5      | 26,5        | 26,4      | 25,5      | 23,5      | 21,5      | 18,5      | 14,5      | 8,5       |
| EB-65-40-200-1 | 7,50 |                 | 46,5      | 46,2        | 46,0      | 45,3        | 45,1      | 43,0      |           |           |           |           |           |
| EB-65-40-200-2 | 7,50 |                 | 39,2      | 38,5        | 38,0      | 37,8        | 37,5      | 37,5      | 32,7      | 30,0      |           |           |           |
| EB-65-40-200-3 | 7,50 |                 | 35,0      | 35,0        | 35,0      | 35,0        | 35,0      | 34,0      | 32,0      | 29,5      | 26,0      | 22,0      |           |
| EB-65-40-200-4 | 7,50 |                 | 30,4      | 30,4        | 30,4      | 30,4        | 30,4      | 28,5      | 27,0      | 23,2      | 19,2      | 13,5      | 7,5       |

Tendremos que seleccionar el modelo con motor de 7,5 Hp (5.5KW), el cual puede suministrar 200 L/min con una altura total de 46,5m

## Calculo de los transportadores Neumáticos

El proyecto cuenta con dos transportadores neumáticos, uno para el compuesto árido y otro para el compuesto pigmento.

Se diseñará un sistema de transporte para cada compuesto, el cual debe tener la capacidad de transportar el material desde el depósito a cada una de las 2 dispersoras. Se realiza el siguiente croquis con la instalación proyectada.



Como se puede observar, se utiliza un solo compresor para dosificar en dos dispersoras, controlado por válvulas de accionamiento.

Cabe aclarar que solo se transporta a una dispersora a la vez, por lo tanto para los cálculos se tomará la distancia entre el depósito y la dispersora más alejada.

## Transporte Neumático 1 - Árido

### Datos del material

Utilizando el datasheet que nos brinda el proveedor obtenemos las propiedades necesarias para el calculo:

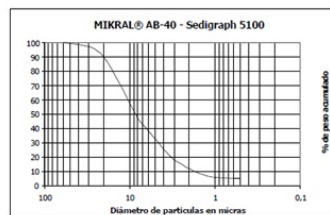
#### ESPECIFICACIONES:

|                                  |                        |               |
|----------------------------------|------------------------|---------------|
| Humedad:                         | Máx. 0.10 %            | ISO 787/2     |
| Absorción de aceite:             | 16 - 18 g/100 g        | ISO 787/5     |
| Absorción de DOP:                | 26 - 28 g/100 g        | ISO 787/5     |
| Densidad Aparente sin compactar: | 0,96 g/cm <sup>3</sup> | ISO 787/11    |
| Densidad Aparente compactada:    | 1,18 g/cm <sup>3</sup> | ISO 787/11    |
| Índice de Blancura:              | Min. 87.00 %           | Photovolt 577 |

#### GRANULOMETRICOS:

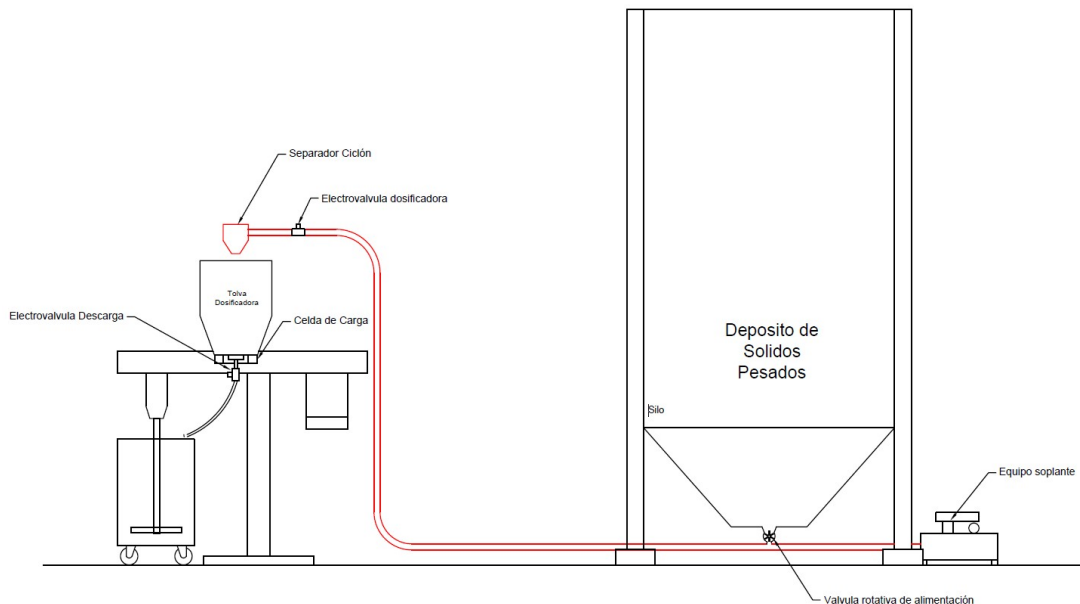
|                                |             |                |
|--------------------------------|-------------|----------------|
| Retenido en malla 400 (38 µm): | Máx. 1.50 % | ISO 787/7      |
| Tamaño medio de partículas:    | 8.50 µm     | Sedigraph 5100 |

$$\rho_{arido} := 960 \frac{kg}{m^3}$$

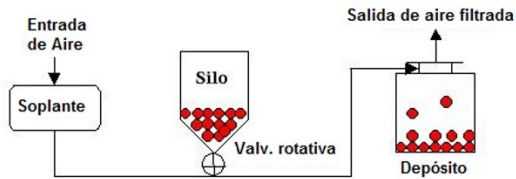


### Tipo de sistema elegido

Para los casos en los que se debe retirar desde un punto y transportarlo a mas de un punto se suele utilizar los sistemas de presión positiva y de fase diluida según se esquematiza a continuación.



El principio de funcionamiento y las especificaciones recomendadas se muestran a continuación:



Velocidades de mezclado:  $\approx 13 \text{ m/s}$  (Ingreso a sist.)  
 Velocidades de salida  $\approx 30 \text{ m/s}$  (Salida del sist.)  
 Presión entrada:  $\leq 1,0 \text{ kg/cm}^2$   
 Presión salida: = Presión atm.  
 Fuente de aire: Ventilador o soplante

### Fase diluida - Operación a presión

## Cálculos de transporte

Caudal Masico: consideramos transportar 300 kg de Árido en 1 min

$$Q_{m1} := \frac{300 \text{ kg}}{\text{min}} = 5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Densidad de transporte: este dato se obtiene de tablas de transporte neumáticos de materiales. Sin embargo, el árido que estamos utilizando no se encuentra en la tabla, por lo tanto debemos elegir uno de similar características físicas

TRANSPORTE NEUMÁTICO - ANEXO II  
Valores admisibles para el transporte neumático de materiales comunes

| Material   | Densidad aparente promedio durante el transporte [Kg/m <sup>3</sup> ] | Tamaño del grano          |                     |          | Velocidad mínima admisible del aire en la tubería transportadora [m/seg.] |            | Máximo valor admisible de $\gamma$ Kg de polvo/ m <sup>3</sup> aire |            |
|--|---|---------------------------|---------------------|----------|---|------------|---|------------|
|  |   |                           |                     |          | vertical  | horizontal | vertical  | horizontal |
| Material en terrones y gránulos gruesos          |   |                           |                     |          |   |            |   |            |
| Carbón   | 720   | mas de 12,7 mm            |                     |          | 12  | 15         | 16  | 12         |
| Carbón   | 720   | mas de 6,3 mm             |                     |          | 9   | 12         | 24  | 16         |
| Trigo  | 750   | 4,7 mm                    |                     |          | 9   | 12         | 32  | 24         |
| Cubos de polieteno                               | 480   | mas de 3,2 mm             |                     |          | 9   | 12         | 32  | 24         |
| Polvos fluidizables                              |   |                           |                     |          |   |            |   |            |
| Porcentajes que pasa los tamices abajo señalados |   |                           |                     |          |   |            |   |            |
|  |   | Porcentaje                | Malla (mm de ancho) | B.S.Mesh |   |            |   |            |
| Cemento  | 1050 - 1440   | 95                        | 0,089               | 170      | 1,5   | 7,5        | 960   | 160        |
| Harina   | 560   | 64                        | 0,152               | 100      | 1,5   | 4,5        | 240   | 80         |
| Carbón pulverizado                               | 720   | 100 % pasa malla de 0,475 | 75 % pasa 0,076     | 200      | 1,5   | 4,5        | 320   | 112        |
| Ceniza pulverizada                               | 720   | 90                        | 0,152               | 100      | 1,5   | 4,5        | 480   | 160        |
| Tierra de bastan                                 | 560 - 880   | 95                        | 0,104               | 150      | 1,5   | 6          | 240   | 80         |
| Bentonita  | 770 - 1050  | 95                        | 0,076               | 200      | 1,5   | 7,5        | 480   | 64         |
| Barita   | 1340 - 2160   | 99                        | 0,066               | 240      | 4,5   | 7,5        | 480   | 160        |
| Slice  | 800 - 960   | 95                        | 0,104               | 150      | 1,5   | 6          | 320   | 80         |
| Fluorita   | 1760  | 50                        | 0,076               | 200      | 3   | 9          | 640   | 160        |
| Fosfato mineral                                  | 1280  | 90                        | 0,152               | 100      | 3   | 9          | 320   | 112        |
| Tripolifato                                      | 1050  | 95                        | 0,178               | 85       | 1,5   | 7,5        | 480   | 80         |
| Sal común  | 1360  | 5                         | 0,152               | 100      | 3   | 9          | 240   | 80         |
| Ceniza sódica (liviana)                          | 560   | 66                        | 0,104               | 150      | 3   | 9          | 240   | 80         |
| Ceniza sódica (densa)                            | 1050  | 50                        | 0,178               | 85       | 3   | 12         | 160   | 48         |
| Sulfato de sodio                                 | 1280 - 1440   | 100 % pasa malla de 0,5   | 55 % pasa 0,104     | 150      | 3   | 12         | 240   | 80         |
| Perborato de sodio                               | 865   | 100 % pasa malla de 0,5   | 43 % pasa 0,178     | 85       | 3   | 9          | 160   | 48         |
| Bauxita molida                                   | 1440  | 100                       | 0,104               | 150      | 1,5   | 7,5        | 640   | 128        |
| Alúmina  | 930   | 100                       | 0,104               | 150      | 1,5   | 7,5        | 480   | 96         |
| Kieselguhr                                       | 240   | 85                        | 0,076               | 200      | 1,5   | 7,5        | 160   | 32         |
| Magnesita  | 1600  | 90                        | 0,076               | 200      | 3   | 9          | 480   | 160        |
| Dióxido de uranio                                | 3500  | 100 % pasa malla de 0,5   | 50 % pasa 0,076     | 200      | 6   | 18         | 960   | 160        |

Utilizaremos los datos del sílice, el cual tiene una densidad aparente y tamaño de grano similar. El valor máximo de kg de polvo en m<sup>3</sup> de aire se toma como el mas desfavorable de los dos (horizontal y vertical).

$$\gamma_{t1} := 50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Velocidad de transporte: se podría utilizar el valor de tabla, sin embargo para asegurar el transporte, utilizaremos un valor mayor el valor recomendado como velocidad de ingreso al sistema (13m/s)

$$v_{t1} := 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cantidad de aire a transportar:

$$Q_{v1} := \frac{Q_{m1}}{\gamma_{t1}} = 0.1 \frac{m^3}{s}$$

Diámetro de la cañería:

$$D_{aprox1} := \sqrt[2]{\frac{4 \cdot Q_{v1}}{\pi \cdot v_{t1}}} = 92.132 \text{ mm}$$

| Diámetro Nominal | Dimen. Exterior | STD             |       |        | SCH-40          |       |        |
|------------------|-----------------|-----------------|-------|--------|-----------------|-------|--------|
|                  |                 | Espesor Nominal | Peso  |        | Espesor Nominal | Peso  |        |
| Pulg.            | mm              | mm              | kg/m  | kg     | mm              | kg/m  | kg     |
| 1/4              | 13.7            | 2.24            | 0.63  | 3.78   | 2.24            | 0.63  | 3.78   |
| 3/8              | 17.1            | 2.31            | 0.84  | 5.04   | 2.31            | 0.84  | 5.04   |
| 1/2              | 21.3            | 2.77            | 1.27  | 7.62   | 2.77            | 1.27  | 7.62   |
| 3/4              | 26.7            | 2.87            | 1.69  | 10.14  | 2.87            | 1.69  | 10.14  |
| 1                | 33.4            | 3.38            | 2.50  | 15     | 3.38            | 2.50  | 15     |
| 1 1/4            | 42.2            | 3.56            | 3.39  | 20.34  | 3.56            | 3.39  | 20.34  |
| 1 1/2            | 48.3            | 3.68            | 4.05  | 24.3   | 3.68            | 4.05  | 24.3   |
| 2                | 60.3            | 3.91            | 5.44  | 32.64  | 3.91            | 5.44  | 32.64  |
| 2 1/2            | 73.0            | 5.16            | 8.63  | 51.78  | 5.16            | 8.63  | 51.78  |
| 3                | 88.9            | 5.49            | 11.29 | 67.74  | 5.49            | 11.29 | 67.74  |
| 4                | 114.3           | 6.02            | 16.07 | 96.42  | 6.02            | 16.07 | 96.42  |
| 5                | 141.3           | 6.55            | 21.77 | 130.62 | 6.55            | 21.77 | 130.62 |

Se elige cañería de 4"

$$D_{ext1} := 114.3 \text{ mm}$$

$$e1 := 6.02 \text{ mm}$$

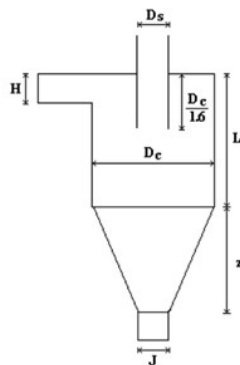
$$D_1 := D_{ext1} - 2 \cdot e1 = 102.26 \text{ mm}$$

## Dimensionamiento del separador

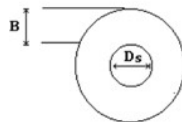
Como separador se utilizará un separador ciclónico, el cual se ubica en el extremo de la cañería, antes de la válvula dosificadora. El dimensionamiento se lleva a cabo siguiendo las siguientes recomendaciones:

### Diseño de ciclones convencionales (Traducción)

Ciclones convencionales



Con las relaciones geométricas



$$\begin{aligned} L &= 2 \cdot D_c \\ z &= 2 \cdot D_c \\ D_s &= \frac{D_c}{2} \\ J &= \frac{D_c}{4} \\ B &= \frac{D_c}{4} \\ H &= \frac{D_c}{2} \end{aligned}$$

$$B_1 := 45 \text{ mm}$$

$$D_{c1} := 4 \cdot B_1 = 180 \text{ mm}$$

$$H_1 := \frac{D_{c1}}{2} = 90 \text{ mm}$$

$$L_1 := 2 \cdot D_{c1} = 360 \text{ mm}$$

$$Z_1 := L_1 = 360 \text{ mm}$$

$$D_{s1} := \frac{D_{c1}}{2} = 90 \text{ mm}$$

$$J_1 := \frac{D_{c1}}{4} = 45 \text{ mm}$$

La velocidad de entrada al ciclón debe ser entre 15 y 27 m/s y se calcula como:

$$v_{i1} := \frac{Q_{v1}}{B_1 \cdot H_1} = 24.691 \frac{m}{s} \text{ (verifica)}$$

Calculamos la cantidad vórtices:

$$N_1 := \frac{1}{H_1} \left( L_1 + \frac{Z_1}{2} \right) = 6$$

Se procede a verificar el diámetro de partícula crítico, es decir el diámetro de partícula mínimo que el ciclón puede separar. Para eso se necesita los siguientes datos:

$$u := 1.96 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad \text{Viscosidad dinámica del aire}$$

$$D_{critico} := \sqrt[2]{\frac{9 \cdot u \cdot B_1}{\pi \cdot N_1 \cdot \rho_{arido} \cdot v_{i1}}} = 4.215 \mu m$$

La hoja de datos del árido nos indica que tiene un diámetro de partícula promedio de 8.5  $\mu m$  por lo tanto concluimos que este ciclón funcionará correctamente

Perdida de presión en el ciclón:

$$K := 16 \quad \text{factor de entrada tangencial al ciclón}$$

$$N_H := K \cdot \frac{H_1 \cdot B_1}{D_{s1}^2} = 8$$

$$\rho_{aire} := 1.2 \frac{kg}{m^3} \quad P_{s1} := \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot v_{i1}^2 \cdot N_H = (2.926 \cdot 10^3) \text{ Pa}$$

Pasándolo a kg/cm<sup>2</sup>:

$$H_{s1} := \frac{P_{s1}}{g} = 0.03 \frac{kg}{cm^2}$$

### Calculo de las perdidas del sistema

Perdida de carga para introducir el material en la corriente de aire:

$$F_1 := 3 \quad \text{(entre 2 a 3 según ensayos)}$$

$$H_{p1} := \frac{F_1 \cdot v_{t1}^2}{2 \cdot g} \cdot \gamma_{t1} = 0.172 \frac{kg}{cm^2}$$

Perdida de carga primaria:

$$\lambda_1 := 0.02 \quad (\text{entre } 0.016 \text{ y } 0.02)$$

$$l_{x1} := 16 \text{ m} \quad (\text{distancia horizontal desde deposito del árido hasta dispersora mas alejada})$$

$$l_{v1} := 4 \text{ m} \quad (\text{distancia vertical})$$

$$H_{p2} := \frac{\lambda_1 \cdot (l_{x1} + l_{v1}) \cdot v_{t1}^2}{D_1 \cdot 2 \cdot g} \cdot \gamma_{t1} = 0.224 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Perdidas en curvas

$$r_1 := \frac{500 \text{ mm}}{D_1} = 4.889 \quad (\text{relación radio de curvatura/diámetro de cañería})$$

$$n_1 := 4 \quad (\text{numero de curvas})$$

| Relación<br>Radio de curvatura/ $\Phi$ tubería | F3   |
|--|------|
| 2  | 1.5  |
| 4  | 0.75 |
| 6 o más  | 0.5  |

$$F_3 := 0.75$$

$$H_{p3} := \frac{F_3 \cdot n_1 \cdot v_{t1}^2}{2 \cdot g} \cdot \gamma_{t1} = 0.172 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

H3 - Perdidas por elevación

$$h_1 := 4 \text{ m} \quad (\text{altura de elevación})$$

$$H_{p4} := h_1 \cdot \gamma_{t1} = 0.02 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Perdida total del sistema

$$H_{t1} := H_{p1} + H_{p2} + H_{p3} + H_{p4} + H_{s1} = 0.618 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

**Calculo de la potencia de motor necesaria**

$$\eta := 0.65 \quad \text{factor global de rendimiento del motor}$$

$$P_{motor1} := \frac{Q_{v1} \cdot H_{t1} \cdot g}{\eta} = 9.329 \text{ kW}$$

(Se elije motor de 11 kW)

## Transporte Neumático 2 - Pigmento

### Datos del material

Utilizando el datasheet que nos brinda el proveedor obtenemos las propiedades necesarias para el calculo:

| TYPICAL PROPERTIES              |                            |             |
|---------------------------------|----------------------------|-------------|
| PARAMETER                       | VALUE                      | TEST METHOD |
| Crystal structure               | Rutile                     | XRD*        |
| ISO 591 classification          | R2                         | --          |
| Chemical abstracts number (CAS) | 13463-67-7                 | --          |
| pH                              | 6.5 - 8.0                  | ISO 787-9   |
| TiO <sub>2</sub> content        | 94.0 - 95.5%               | ISO 591-1   |
| Density                         | 4.1g/cm <sup>3</sup>       | ISO 787-10  |
| Average particle size           | 0.23µm                     | SEM**       |
| Surface treatment               | Zirconia; Alumina; organic | --          |

$$\rho_{\text{pigmento}} := 4100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### Tipo de sistema elegido

Se utiliza el mismo sistema que para el árido.

### Cálculos de transporte

Caudal Masico: consideramos transportar 300 kg de Pigmento en 1 min

$$Q_{m2} := \frac{300 \text{ kg}}{\text{min}} = 5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Densidad de transporte: al igual que en el caso anterior, este material tampoco se encuentra en la tabla, pero hay uno que se puede tomar de referencia en propiedades físicas, por lo tanto debemos elegir uno de similar características físicas

**TRANSPORTE NEUMÁTICO - ANEXO II**  
Valores admisibles para el transporte neumático de materiales comunes

| Material   | Densidad aparente promedio durante el transporte [Kg/m <sup>3</sup> ] | Tamaño del grano          |                     |            | Velocidad mínima admisible del aire en la tubería transportadora [m/seg.] |          | Máximo valor admisible de $\gamma$ Kg de polvo/ m <sup>3</sup> aire |     |
|--|---|---------------------------|---------------------|------------|---|----------|---|-----|
|  |   | vertical                  | horizontal          | vertical   | horizontal  | vertical | horizontal  |     |
| Material en terrones y gránulos gruesos          |   |                           |                     |            |   |          |   |     |
| Carbón   | 720   | mas de 12,7 mm            | 12                  | 15         | 16  | 12       |   |     |
| Carbón   | 720   | mas de 6,3 mm             | 9                   | 12         | 24  | 16       |   |     |
| Trigo  | 750   | 4,7 mm                    | 9                   | 12         | 32  | 24       |   |     |
| Cubos de polieteno                               | 480   | mas de 3,2 mm             | 9                   | 12         | 32  | 24       |   |     |
| Polvos fluidizables                              |   |                           |                     |            |   |          |   |     |
| Porcentajes que pasa los tamices abajo señalados |   |                           |                     |            |   |          |   |     |
|  |   | Porcentaje                | Malla (mm de ancho) | B. S. Mesh |   |          |   |     |
| Cemento  | 1050 - 1440   | 95                        | 0,089               | 170        | 1,5   | 7,5      | 960   | 160 |
| Harina   | 560   | 64                        | 0,152               | 100        | 1,5   | 4,5      | 240   | 80  |
| Carbón pulverizado                               | 720   | 100 % pasa malla de 0,425 | 75 % pasa 0,076     | 200        | 1,5   | 4,5      | 320   | 112 |
| Ceniza pulverizada                               | 720   | 90                        | 0,152               | 100        | 1,5   | 4,5      | 480   | 160 |
| Tierra de bastan                                 | 560 - 880   | 95                        | 0,104               | 150        | 1,5   | 6        | 240   | 80  |
| Bentonita  | 770 - 1050  | 95                        | 0,076               | 200        | 1,5   | 7,5      | 480   | 64  |
| Barita   | 1340 - 2160   | 99                        | 0,066               | 240        | 4,5   | 7,5      | 480   | 160 |
| Slice  | 800 - 960   | 95                        | 0,104               | 150        | 1,5   | 6        | 320   | 80  |
| Fluorita   | 1760  | 50                        | 0,076               | 200        | 3   | 9        | 640   | 160 |
| Fosfato mineral                                  | 1280  | 90                        | 0,152               | 100        | 3   | 9        | 320   | 112 |
| Tripolifosfato                                   | 1050  | 95                        | 0,178               | 85         | 1,5   | 7,5      | 480   | 80  |
| Sal común  | 1360  | 5                         | 0,152               | 100        | 3   | 9        | 240   | 80  |
| Ceniza sódica (liviana)                          | 560   | 66                        | 0,104               | 150        | 3   | 9        | 240   | 80  |
| Ceniza sódica (densa)                            | 1050  | 50                        | 0,178               | 85         | 3   | 12       | 160   | 48  |
| Sulfato de sodio                                 | 1280 - 1440   | 100 % pasa malla de 0,5   | 55 % pasa 0,104     | 150        | 3   | 12       | 240   | 80  |
| Perborato de sodio                               | 865   | 100 % pasa malla de 0,5   | 43 % pasa 0,178     | 85         | 3   | 9        | 160   | 48  |
| Bauxita molida                                   | 1440  | 100                       | 0,104               | 150        | 1,5   | 7,5      | 640   | 128 |
| Alúmina  | 930   | 100                       | 0,104               | 150        | 1,5   | 7,5      | 480   | 96  |
| Kieselguhr                                       | 240   | 85                        | 0,076               | 200        | 1,5   | 7,5      | 160   | 32  |
| Magnesita  | 1600  | 90                        | 0,076               | 200        | 3   | 9        | 480   | 160 |
| Dióxido de uranio                                | 3500  | 100 % pasa malla de 0,5   | 50 % pasa 0,076     | 200        | 6   | 18       | 960   | 160 |

Utilizaremos los datos del dióxido de uranio sílice, el cual tiene una densidad aparente y tamaño de grano similar. El valor máximo de kg de polvo en m<sup>3</sup> de aire se toma como el mas desfavorable de los dos (horizontal y vertical).

$$\gamma_{t2} := 40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Velocidad de transporte:

$$v_{t2} := 16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cantidad de aire a transportar:

$$Q_{v2} := \frac{Q_{m2}}{\gamma_{t2}} = 0.125 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Diámetro de la cañería:

$$D_{aprox2} := \sqrt[2]{\frac{4 \cdot Q_{v2}}{\pi \cdot v_{t2}}} = 99.736 \text{ mm}$$

Se elige cañería de 4"

$$D_{ext2} := 114.3 \text{ mm}$$

$$e_2 := 6.02 \text{ mm}$$

$$D_2 := D_{ext2} - 2 \cdot e_2 = 102.26 \text{ mm}$$

### Dimensionamiento del separador

Como separador se utilizará un separador con filtros de manga ya que el separador ciclónico no puede separar partículas menores a 1 micrón



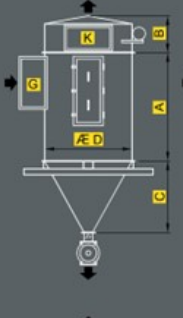
$$i := 0.23 \quad (\text{dato de fabricante})$$

$$A_{filtrante} := \frac{Q_{v2}}{i} = 32.609 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

**H DFA**

Los filtros HDFA están pensados para lograr una óptima separación de polvo ya que agregan el efecto de separación ciclónica. Electroválvula de 1½" G.

The filters HDFA are designed to achieve the maximum separation of powder with the added effect of cyclonic separation. Electro valve: 1½" G



| MODELO | LARGO MANGAS (mm) | SUP. FILT. (m2) |        | A    | B   | C    | Ø D  | F   | G   | H   | ±K    |
|--------|-------------------|-----------------|--------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|-------|
|        |                   | Carbochar       | Mangas |      |     |      |      |     |     |     |       |
| HDF 9  | 1200              | 14.4            | 4.4    | 1260 | 425 | 635  | 840  | 250 | 230 | 120 | Ø 300 |
|        | 1800              | 21.5            | 6.5    | 1860 |     |      |      |     | 460 | 120 |       |
|        | 2400              | 28.7            | 8.6    | 2460 |     |      |      |     | 460 | 120 |       |
| HDF 12 | 1200              | 19.2            | 5.8    | 1260 | 425 | 635  | 840  | 250 | 230 | 120 | Ø 300 |
|        | 1800              | 28.7            | 8.6    | 1860 |     |      |      |     | 460 | 120 |       |
|        | 2400              | 38.3            | 11.5   | 2460 |     |      |      |     | 460 | 120 |       |
| HDF 16 | 1200              | 41.1            | 12.9   | 2760 | 482 | 630  | 1040 | 300 | 330 | 200 | Ø 350 |
|        | 1800              | 51.1            | 15.3   | 2460 |     |      |      |     | 460 | 200 |       |
|        | 2400              | 51.1            | 15.3   | 2460 |     |      |      |     | 460 | 200 |       |
| HDF 26 | 1200              | 41.5            | 12.8   | 2760 | 562 | 1020 | 1240 | 370 | 370 | 200 | Ø 400 |
|        | 1800              | 62.2            | 18.7   | 2460 |     |      |      |     | 460 | 200 |       |
|        | 2400              | 83.0            | 24.9   | 2460 |     |      |      |     | 460 | 200 |       |
|        | 2760              | 83.4            | 27.8   | 2760 |     |      |      |     | 460 | 200 |       |

Se selecciona el modelo HDF12 de 2400mm

### Calculo de las perdidas del sistema

Perdida de carga para introducir el material en la corriente de aire:

$$F_{1'} := 3 \quad (\text{entre 2 a 3 según ensayos})$$

$$H_{p1'} := \frac{F_{1'} \cdot v_{t2}^2}{2 \cdot g} \cdot \gamma_{t2} = 0.157 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Perdida de carga primaria:

$$\lambda_2 := 0.02 \quad (\text{entre 0.016 y 0.02})$$

$$l_{x2} := 20 \text{ m} \quad (\text{distancia horizontal desde deposito del árido hasta dispersora mas alejada})$$

$$l_{v2} := 4 \text{ m} \quad (\text{distancia vertical})$$

$$H_{p2'} := \frac{\lambda_2 \cdot (l_{x2} + l_{v2}) \cdot v_{t2}^2}{D_2 \cdot 2 \cdot g} \cdot \gamma_{t2} = 0.245 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Perdidas en curvas

$$r_2 := \frac{500 \text{ mm}}{D_2} = 4.889 \quad (\text{relación radio de curvatura/diámetro de cañería})$$

$$n_2 := 4 \quad (\text{numero de curvas})$$

$$F_{3'} := 0.75$$

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| Relación Radio de curvatura/Ø tubería | F3   |
| 2                                     | 1,5  |
| 4                                     | 0,75 |
| 6 o más                               | 0,5  |

$$H_{p3'} := \frac{F_{3'} \cdot n_2 \cdot v_{t2}^2}{2 \cdot g} \cdot \gamma_{t2} = 0.157 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

### Perdidas por elevación

$h_2 := 4 \text{ m}$  (altura de elevación)

$$H_{p4'} := h_2 \cdot \gamma_{t2} = 0.016 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

### Perdida en el filtro

$$H_f := 0.01 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Valor de tabla})$$

### Perdida total del sistema

$$H_{t2} := H_{p1'} + H_{p2'} + H_{p3'} + H_{p4'} + H_f = 0.584 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

### **Calculo de la potencia de motor necesaria**

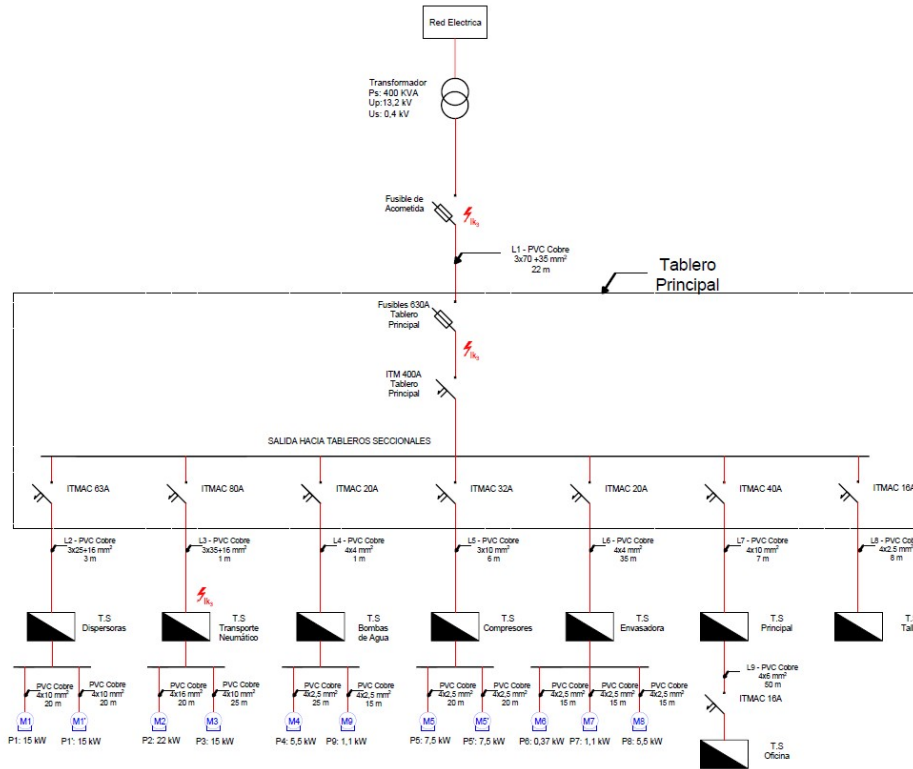
$\eta_2 := 0.65$  factor global de rendimiento del motor

$$P_{motor2} := \frac{Q_{v2} \cdot H_{t2} \cdot g}{\eta_2} = 11.02 \text{ kW}$$

(Se elije motor de 15 kW)

# Cálculo de Corriente de Cortocircuito Según AEA 90364

El circuito a evaluar es el siguiente:



## Datos de la red Eléctrica

Como primer paso obtenemos los datos de impedancia de la Red de la Distribuidora, es decir, de Enersa. Se puede suponer una potencia de cortocircuito de la Distribuidora

$$S_k := 200 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{A}$$

Se necesita los siguientes datos para el calculo:

$c := 1.1$  Factor de Red (se utiliza la tabla 1 - AEA 90909):

Tabla 1 – Factor de tensión  $c$

| Tensión nominal $U_n$  | Factor de tensión $c$ para el cálculo de:<br>corrientes máximas de cortocircuito $c_{max}^{(1)}$<br>corrientes mínimas de cortocircuito $c_{min}$ |      |
|--|---|------|
| Baja tensión<br>100 V a 1000 V<br>(IEC 60339, tabla I)                         | 1,05 <sup>(2)</sup><br>1,10 <sup>(3)</sup>  | 0,95 |
| Media tensión<br>> 1 kV a 35 kV<br>(IEC 60339, tabla III)                      | 1,10  | 1,00 |
| Alta tensión <sup>(4)</sup><br>> 35 kV a 380 kV<br>(Norma IEC 60339, tabla IV) |   |      |

<sup>(1)</sup>  $c_{max}$ ,  $U_n$  no debe exceder la máxima tensión  $U_m$  para equipamientos de sistemas de potencia.  
<sup>(2)</sup> Si no se define una tensión nominal, se debe aplicar  $c_{max} U_n = U_m$  o  $c_{min} U_n = 0,90 U_n$ .  
<sup>(3)</sup> Para sistemas de baja tensión con una tolerancia de + 6 %, por ejemplo para sistemas re-nombrados de 380 V a 400 V.  
<sup>(4)</sup> Para sistemas de baja tensión con una tolerancia de + 10 %.

NOTA – La introducción de un factor de tensión  $c$  es necesaria por varias razones, que son las siguientes:

- variaciones de la tensión dependientes del tiempo y del lugar;
- cambios en las tomas de los transformadores;
- cargas y capacitancias despreciadas en los cálculos, de acuerdo con el apartado 2.3.1;
- el comportamiento subtransitorio de los alternadores y motores.

$$U_n := 13200 \text{ V} \quad (\text{Tensión de red})$$

Modulo Impedancia Equivalente de red:

$$Z_q := c \frac{U_n^2}{S_k} = 0.958 \Omega$$

Este valor se divide en dos componentes: resistiva y reactiva

$$X_{red} := 0.995 \cdot Z_q = 0.954 \Omega \quad R_{red} := 0.1 \cdot X_{red} = 0.095 \Omega$$

Entonces queda definida la impedancia como:

$$Z_{red} := (0.095 + 0.954i) \Omega$$

### Datos del transformador

Se obtienen los datos de la siguiente tabla de transformadores bajo norma IRAM 2250/ IRAM 2269:

| IRAM 2250 / IRAM 2269 (#)  |              |         |                  |       |      |        | IRAM 2250 / IRAM 2269 (#)  |          |              |         |                  |       |      |        |      |      |      |
|--|--------------|---------|------------------|-------|------|--------|--|----------|--------------|---------|------------------|-------|------|--------|------|------|------|
| Transformadores llenado Integral - Relación 13,2 ± 2 x 2,5% / 0,4 kV |              |         |                  |       |      |        | Transformadores llenado Integral - Relación 33 ± 2 x 2,5% / 0,4 kV |          |              |         |                  |       |      |        |      |      |      |
| Potencia   | Pérdidas (W) | Ucc     | Dimensiones (mm) |       |      |        | Masa   | Potencia | Pérdidas (W) | Ucc     | Dimensiones (mm) |       |      |        | Masa |      |      |
| kVA  | Po           | Pcc (%) | Largo            | Ancho | Alto | Trocha | kg   | kVA      | Po           | Pcc (%) | Largo            | Ancho | Alto | Trocha | kg   |      |      |
| ** 16*   | 100          | 500     | 4                | 1000  | 750  | 1100   | 600  | 350      | ** 16*       | 130     | 480              | 4     | 1200 | 800    | 1500 | 600  | 550  |
| 25*  | 160          | 600     | 4                | 1000  | 750  | 1100   | 600  | 400      | 25*          | 190     | 650              | 4     | 1200 | 800    | 1500 | 600  | 600  |
| ** 40*   | 200          | 900     | 4                | 1100  | 750  | 1100   | 600  | 450      | # 40*        | 290     | 900              | 4     | 1300 | 800    | 1500 | 600  | 700  |
| 63*  | 270          | 1350    | 4                | 1150  | 750  | 1100   | 600  | 550      | # 63*        | 320     | 1500             | 4     | 1300 | 800    | 1500 | 600  | 800  |
| ** 80*   | 315          | 1500    | 4                | 1200  | 750  | 1100   | 600  | 600      | ** 80*       | 350     | 1700             | 4     | 1200 | 850    | 1550 | 600  | 850  |
| # 100*   | 350          | 1750    | 4                | 1200  | 750  | 1150   | 600  | 650      | # 100*       | 420     | 1900             | 4     | 1200 | 900    | 1600 | 600  | 1000 |
| ** 125*  | 420          | 2100    | 4                | 1450  | 750  | 1150   | 600  | 700      | ** 125*      | 500     | 2500             | 4     | 1600 | 800    | 1600 | 600  | 1000 |
| # 160*   | 500          | 2500    | 4                | 1500  | 750  | 1250   | 600  | 800      | # 160*       | 600     | 2800             | 4     | 1600 | 800    | 1600 | 600  | 1100 |
| # 200  | 600          | 3000    | 4                | 1550  | 850  | 1250   | 600  | 850      | 200          | 700     | 3250             | 4     | 1400 | 900    | 1600 | 600  | 1200 |
| # 250  | 700          | 3500    | 4                | 1650  | 900  | 1250   | 700  | 1050     | 250          | 850     | 4000             | 4     | 1500 | 1000   | 1700 | 700  | 1500 |
| 315  | 850          | 4250    | 4                | 1650  | 900  | 1300   | 700  | 1250     | 315          | 950     | 4800             | 4     | 1800 | 1100   | 1700 | 700  | 1600 |
| 400  | 1000         | 5000    | 4                | 1650  | 950  | 1500   | 700  | 1450     | 400          | 1200    | 5600             | 4     | 1800 | 1100   | 2000 | 700  | 2000 |
| 500  | 1200         | 6000    | 4                | 1650  | 1050 | 1650   | 700  | 1750     | 500          | 1250    | 6400             | 4     | 1800 | 1100   | 2000 | 700  | 2300 |
| 630  | 1450         | 7250    | 4                | 1650  | 1050 | 1650   | 800  | 2000     | 630          | 1500    | 7600             | 4     | 1900 | 1200   | 2000 | 800  | 2700 |
| 800  | 1750         | 8750    | 5                | 1800  | 1050 | 1675   | 800  | 2400     | 800          | 1800    | 9800             | 5     | 2000 | 1200   | 2000 | 800  | 3200 |
| 1000   | 2000         | 10500   | 5                | 1950  | 1100 | 1700   | 800  | 3150     | 1000         | 2200    | 11700            | 5     | 2100 | 1200   | 2100 | 800  | 3700 |
| 1250   | 2200         | 13000   | 5                | 1950  | 1200 | 1800   | 1000   | 3600     | 1250         | 2500    | 14200            | 5     | 2200 | 1300   | 2100 | 1000 | 4300 |

\* Se pueden proveer cliosorte para abrazaderas de sujeción a poste y para plataforma.  
 \*\* Modelos no contemplados en IRAM 2250.  
 # También se proveen como IRAM 2269 con soporte para sujeción a poste y sin ruedas.

Los datos del transformador son los siguientes:

Potencia Aparente del transformador:  $P_N := 400 \text{ KV} \cdot \text{A}$

Tensión de Cortocircuito:  $U_k := 4\%$

Perdidas de Cortocircuito:  $P_{cc} := 5000 \text{ W}$

Caída de tensión resistiva y reactiva:

$$U_r := \frac{P_{cc}}{P_N} = 0.013 \quad U_x := \sqrt{U_k^2 - U_r^2} = 0.038$$

Componentes Resistivas y Reactivas del Transformador:

$$R_T := U_r \cdot \frac{U_n^2}{P_N} = 5.445 \Omega \quad X_T := U_x \cdot \frac{U_n^2}{P_N} = 16.551 \Omega$$

### Impedancia del transformador

$$Z_T := (5.445 + 16.551i) \Omega$$

Refiriendo las impedancias al secundario:

Relación de Transformación: 
$$a := \frac{13200 \text{ V}}{380 \text{ V}} = 34.737$$

Impedancia en el primario: 
$$Z_p := Z_{red} + Z_T = (5.54 + 17.505i) \Omega$$

### Impedancias referidas al secundario

$$Z_s := \frac{Z_p}{a^2} = (0.005 + 0.015i) \Omega$$

### Cálculo de las impedancias de las Líneas

Se utilizará el siguiente catalogo de Prysmian como referencia para la selección de datos de los conductores

| Características técnicas- Cables con conductores de cobre      |                              |                                    |                                    |                                |                      |  |                               |
|--|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------------|--|-------------------------------|
| Sección nominal<br>mm <sup>2</sup>                             | Diámetro del conductor<br>mm | Espesor nominal de aislación<br>mm | Espesor nominal de envoltura<br>mm | Diámetro exterior aprox.<br>mm | Masa aprox.<br>kg/km | Resistencia eléctrica máx. a 70°C y 50 Hz.<br>ohm/km | Reactancia a 50 Hz.<br>ohm/km |
| Tripolares (almas de color marrón, negro y rojo)               |                              |                                    |                                    |                                |                      |  |                               |
| 1,5  | 1,5                          | 0,8                                | 1,8                                | 10                             | 152                  | 15,9   | 0,108                         |
| 2,5  | 2                            | 0,8                                | 1,8                                | 11                             | 195                  | 9,55   | 0,0995                        |
| 4  | 2,5                          | 1,0                                | 1,8                                | 13                             | 280                  | 5,92   | 0,0991                        |
| 6  | 3                            | 1,0                                | 1,8                                | 15                             | 356                  | 3,95   | 0,0901                        |
| 10   | 3,9                          | 1,0                                | 1,8                                | 17                             | 509                  | 2,29   | 0,0860                        |
| 16   | 5,0                          | 1,0                                | 1,8                                | 20                             | 786                  | 1,45   | 0,0813                        |
| 25   | 7,1                          | 1,2                                | 1,8                                | 26                             | 1270                 | 0,933  | 0,0780                        |
| 35   | 8,3                          | 1,2                                | 1,8                                | 28,5                           | 1630                 | 0,663  | 0,0760                        |
| 50   | 8,1                          | 1,4                                | 1,8                                | 30                             | 2075                 | 0,464  | 0,0777                        |
| 70   | 10,9                         | 1,4                                | 2,0                                | 30                             | 2365                 | 0,321  | 0,0736                        |
| 95   | 12,7                         | 1,6                                | 2,1                                | 33                             | 3208                 | 0,232  | 0,0733                        |
| 120  | 14,2                         | 1,6                                | 2,2                                | 36                             | 3910                 | 0,184  | 0,0729                        |
| 150  | 15,9                         | 1,8                                | 2,4                                | 40                             | 4806                 | 0,150  | 0,0720                        |
| 185  | 17,7                         | 2,0                                | 2,5                                | 44                             | 5956                 | 0,121  | 0,0720                        |
| 240  | 20,1                         | 2,2                                | 2,7                                | 49                             | 7729                 | 0,0911   | 0,0716                        |
| 300  | 22,5                         | 2,4                                | 2,9                                | 54                             | 9636                 | 0,0730   | 0,0714                        |
| Tetrapolares (almas de color marrón, negro, rojo y azul claro) |                              |                                    |                                    |                                |                      |  |                               |
| 1,5  | 1,5                          | 0,8                                | 1,8                                | 11                             | 180                  | 15,9   | 0,108                         |
| 2,5  | 2                            | 0,8                                | 1,8                                | 12                             | 233                  | 9,55   | 0,0995                        |
| 4  | 2,5                          | 1,0                                | 1,8                                | 15                             | 337                  | 5,92   | 0,0991                        |
| 6  | 3                            | 1,0                                | 1,8                                | 16                             | 433                  | 3,95   | 0,0901                        |
| 10   | 3,9                          | 1,0                                | 1,8                                | 18                             | 627                  | 2,29   | 0,0860                        |
| 16   | 5,0                          | 1,0                                | 1,8                                | 22                             | 992                  | 1,45   | 0,0813                        |
| 25/16  | -                            | 1,2/1,0                            | 1,8                                | 27                             | 1430                 | 0,933  | 0,0780                        |
| 35/16  | -                            | 1,2/1,0                            | 1,8                                | 29                             | 1780                 | 0,663  | 0,0760                        |
| 50/25  | -                            | 1,4/1,2                            | 1,9                                | 31                             | 2355                 | 0,464  | 0,0777                        |
| 70/35  | -                            | 1,4/1,2                            | 2,0                                | 31                             | 2742                 | 0,321  | 0,0736                        |

### Línea 1= Desde Pilar hasta el Tablero Principal

Es un conductor multipolar de  $3 \times 70 + 35 \text{ mm}^2$  con una distancia de 22 m. Entonces la impedancia de cada conductor de fase es:

$$R_{L1} := 0.321 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0.022 \text{ km} = 0.00706 \Omega \quad X_{L1} := 0.0736 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0.022 \text{ km} = 0.00162 \Omega$$

$$Z_{L1} := (0.00706 + 0.00162i) \Omega$$

Los valores del conductor de neutro son:

$$R_{L1N} := 0.663 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0.022 \text{ km} = 0.01459 \Omega \quad X_{L1N} := 0.0760 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0.022 \text{ km} = 0.001672 \Omega$$

$$Z_{L1N} := (0.01459 + 0.001672i) \Omega$$

### Línea 3 = Desde Tablero Principal hasta el Tablero seccional Transporte Neumático

Es un conductor multipolar de  $3 \times 35 + 16 \text{ mm}^2$  con una distancia de 1 m. Entonces la impedancia de cada conductor de fase es:

$$R_{L3} := 0.663 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0.001 \text{ km} = 0.00066 \Omega \quad X_{L3} := 0.0760 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0.001 \text{ km} = 0.00008 \Omega$$

$$Z_{L3} := (0.00066 + 0.00008i) \Omega$$

Los valores del conductor de neutro son :

$$R_{L3N} := 1.45 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0.001 \text{ km} = 0.00145 \Omega \quad X_{L3N} := 0.0813 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0.001 \text{ km} = 0.0000813 \Omega$$

$$Z_{L3N} := (0.00145 + 0.0000813i) \Omega$$

### Línea 11 = el Tablero Seccional Transporte Neumático hasta el motor de mayor potencia (M2)

Es un conductor multipolar de  $4 \times 16 \text{ mm}^2$  con una distancia de 20 m. Entonces la impedancia de cada conductor de fase es:

$$R_{L11} := 1.45 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0.020 \text{ km} = 0.029 \Omega \quad X_{L11} := 0.0813 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0.015 \text{ km} = 0.00122 \Omega$$

$$Z_{L11} := (0.029 + 0.00122i) \Omega$$

### Cálculo de cortocircuito trifásico

En los cálculos de cortocircuitos trifásicos consideramos la malla completa incluyendo los motores, esto se debe a que aportan al cortocircuito, sin embargo, es impráctico calcular cada uno de sus impedancias y los conductores que los alimentan, por lo tanto se considera 1 motor equivalente por cada tablero seccional.

### Datos de los motores equivalentes

$$TS_1 := 30 \text{ kW}$$

$$TS_2 := 37 \text{ kW}$$

$$TS_3 := 6.6 \text{ kW}$$

$$TS_4 := 15 \text{ kW}$$

$$TS_5 := 6.97 \text{ kW}$$

$$U := 380 \text{ V (Tensión)}$$

$$\text{Cos}\varphi_1 := 0.9$$

Se considera que ya fue corregido el factor de potencia y por esto se ocupa este valor

$$\eta := 0.9$$

Se considera este rendimiento ya que las maquinas son nuevas y por ende los motores también

### Cálculo de Impedancia de los motores

Se determina la impedancia de cada uno de los motores, para esto primero determinaremos la corriente, luego la corriente a rotor bloqueado y finalmente obtendremos el valor de la impedancia

#### **Tablero Seccional Dispensoras (motores M1 Y M1')**

$$I_1 := \frac{\frac{TS_1}{\eta}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \text{Cos}\varphi_1} = 56.272 \text{ A} \quad \text{y} \quad I_{LR1} := 5 \cdot I_1 = 281.36 \text{ A}$$

$$Z_{m1} := \frac{1}{\frac{I_{LR1}}{I_1}} \cdot \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_1} = 0.78 \text{ } \Omega$$

Determino la reactancia y la resistencia, teniendo en cuenta la relación  $X_m/R_m = 0.42$ , esto es lo recomendado por la AEA 90909 para un grupo de motores de de baja tensión alimentados por cables, y ya se tiene en cuenta la impedancia de los cables de alimentación.

$$X_{M1} := 0.922 \cdot Z_{m1} = 0.719 \text{ } \Omega \quad \text{y} \quad R_{M1} := 0.42 \cdot X_{M1} = 0.302 \text{ } \Omega$$

$$Z_{M1} := (0.302 + 0.719i) \text{ } \Omega$$

### Tablero Transporte Neumático (motores M2 Y M3)

$$I_2 := \frac{\frac{TS_2}{\eta}}{\sqrt[2]{3} \cdot U \cdot \cos\varphi_1} = 69.402 \text{ A} \quad \text{y} \quad I_{LR2} := 5 \cdot I_2 = 347.01 \text{ A}$$

$$Z_{m2} := \frac{1}{\frac{I_{LR2}}{I_2}} \cdot \frac{U}{\sqrt[2]{3} \cdot I_2} = 0.632 \text{ } \Omega$$

$$X_{M2} := 0.922 \cdot Z_{m2} = 0.583 \text{ } \Omega \quad \text{y} \quad R_{M2} := 0.42 \cdot X_{M2} = 0.245 \text{ } \Omega$$

$$Z_{M2} := (0.245 + 0.583i) \text{ } \Omega$$

### Tablero Seccional Bombas de Agua (motores M4 Y M9)

$$I_3 := \frac{\frac{TS_3}{\eta}}{\sqrt[2]{3} \cdot U \cdot \cos\varphi_1} = 12.38 \text{ A} \quad \text{y} \quad I_{LR3} := 5 \cdot I_3 = 61.899 \text{ A}$$

$$Z_{m3} := \frac{1}{\frac{I_{LR3}}{I_3}} \cdot \frac{U}{\sqrt[2]{3} \cdot I_3} = 3.544 \text{ } \Omega$$

$$X_{M3} := 0.922 \cdot Z_{m3} = 3.268 \text{ } \Omega \quad \text{y} \quad R_{M3} := 0.42 \cdot X_{M3} = 1.373 \text{ } \Omega$$

$$Z_{M3} := (1.373 + 3.268i) \text{ } \Omega$$

### Tablero Seccional Compresores (motores M5 Y M5')

$$I_4 := \frac{\frac{TS_4}{\eta}}{\sqrt[2]{3} \cdot U \cdot \cos\varphi_1} = 28.136 \text{ A} \quad \text{y} \quad I_{LR4} := 5 \cdot I_4 = 140.68 \text{ A}$$

$$Z_{m4} := \frac{1}{\frac{I_{LR4}}{I_4}} \cdot \frac{U}{\sqrt[2]{3} \cdot I_4} = 1.56 \text{ } \Omega$$

$$X_{M4} := 0.922 \cdot Z_{m4} = 1.438 \text{ } \Omega \quad \text{y} \quad R_{M4} := 0.42 \cdot X_{M4} = 0.604 \text{ } \Omega$$

$$Z_{M4} := (0.604 + 1.438i) \text{ } \Omega$$

**Tablero Seccional Envasadora (motores M6, M7 y M8)**

$$I_5 := \frac{\frac{TS_5}{\eta}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi_1} = 13.074 \text{ A} \quad \text{y} \quad I_{LR5} := 5 \cdot I_5 = 65.369 \text{ A}$$

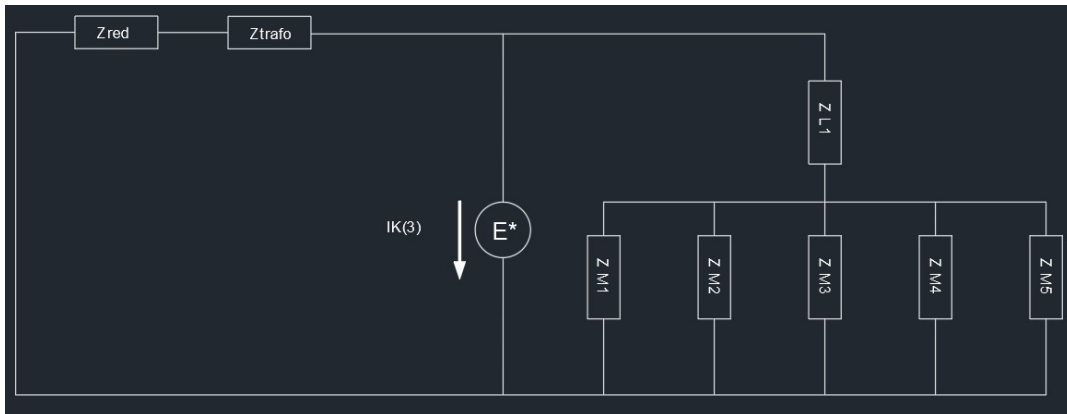
$$Z_{m5} := \frac{1}{\frac{I_{LR5}}{I_5}} \cdot \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_5} = 3.356 \text{ } \Omega$$

$$X_{M5} := 0.922 \cdot Z_{m5} = 3.094 \text{ } \Omega \quad \text{y} \quad R_{M5} := 0.42 \cdot X_{M5} = 1.3 \text{ } \Omega$$

$$Z_{M5} := (1.3 + 3.094i) \text{ } \Omega$$

Calculo de la Falla 1 - Fusibles de acometida

Esquema de la malla de falla:



Calculo de la impedancia total

Impedancias de la malla de los motores

$$Z_{Motores} := \frac{1}{\frac{1}{Z_{M1}} + \frac{1}{Z_{M2}} + \frac{1}{Z_{M3}} + \frac{1}{Z_{M4}} + \frac{1}{Z_{M5}}} = (0.095 + 0.226i) \text{ } \Omega$$

Impedancia Total:

$$Z_{total1} := \frac{1}{\frac{1}{Z_{L1} + Z_{Motores}} + \frac{1}{Z_s}} = (0.004 + 0.014i) \text{ } \Omega$$

Corriente de Cortocircuito Trifásica Eficaz:

$$I_{k31} := \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot |Z_{total1}|} = 16822.89 \text{ A}$$

### Verificación de la Falla Trifásica 1

Verificación poder de corte  $P_{cc1} \geq I_{k3}$

$P_{dCcc}$  : La capacidad de ruptura del dispositivo de protección = Fusible NH-3 630A

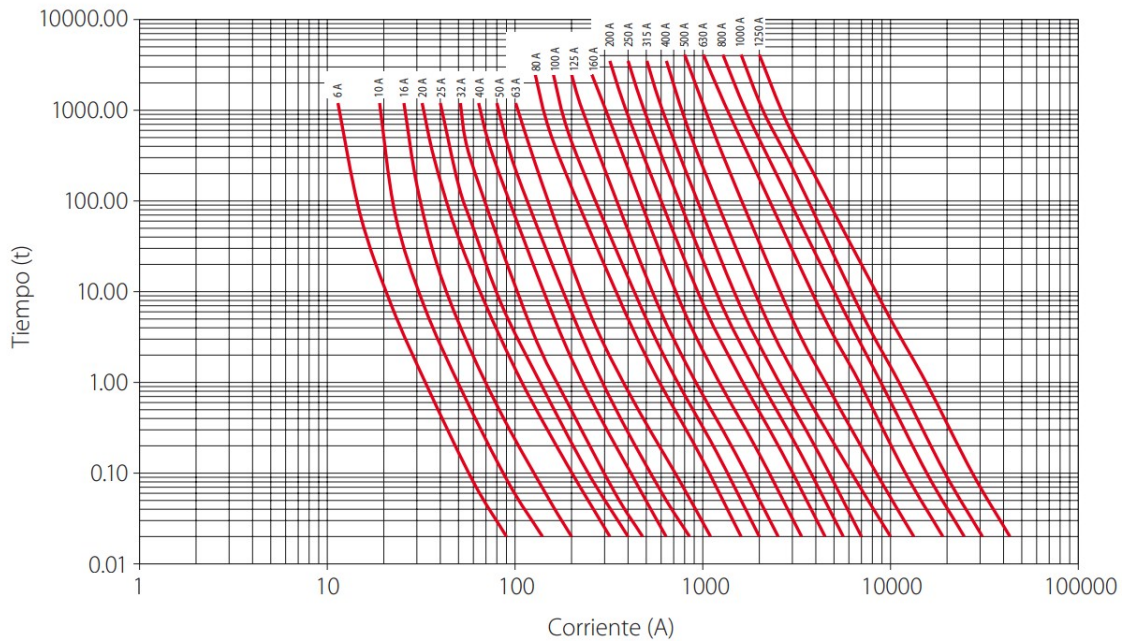
Como  $P_{cc1} := 100 \text{ kA}$

Verifica el poder de corte

### Verificación de la sección del conductor

El tiempo de corte se obtiene de la siguiente curva característica NH (Corriente-Tiempo)

Curva de corriente / tiempo de operación



Por la curva vemos que el tiempo de actuación es aproximadamente de 0,02S para el valor de corriente de cortocircuito

$$t_1 := 0.02 \text{ s}$$

Factor del tipo de conductor: se obtiene por la siguiente tabla de la AEA 90364:

| k                            |   |               |            |            |         |         |                        |
|------------------------------|---|---------------|------------|------------|---------|---------|------------------------|
| Aislación de los conductores | PVC ≤ 300 mm²                           | PVC > 300 mm² | EPR / XLPE | Goma 60 °C | Mineral |         |                        |
|                              |   |               |            |            | PVC     | Desnudo |                        |
| Temperatura inicial °C       | 70                                      | 70            | 90         | 60         | 70      | 105     |                        |
| Temperatura final °C         | 160                                     | 140           | 250        | 200        | 160     | 250     |                        |
| Material conductor           | Cobre                                   | 115           | 103        | 143        | 141     | 115     | 135 / 115 <sup>a</sup> |
|                              | Aluminio                                | 76            | 68         | 94         | 93      | --      | 93                     |
|                              | Uniones estañadas en conductor de cobre | 115           | --         | --         | --      | --      | --                     |

$$k_1 := 115 \frac{A \cdot s}{mm^2} \quad \left( \text{conductor de cobre con aislación PVC} \right)$$

Según la reglamentación AEA, la sección mínima de la Línea debe ser:

$$S_1 := \frac{I_{k3} \cdot \sqrt{t_1}}{k_1} = 20.688 \text{ mm}^2$$

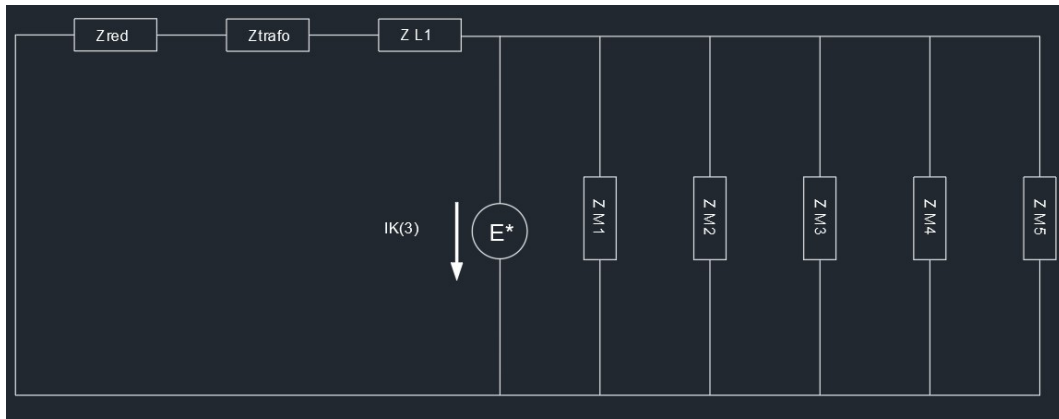
Como el conductor es de sección de fase 70 mm<sup>2</sup>

**Verifica la Sección**

Sin necesidad de calcular el cortocircuito monofásico sabemos que la sección de neutro también verifica, ya que el cortocircuito trifásico siempre tiene un valor mas elevado que el monofásico.

### Calculo de la Falla 2 - Tablero principal

Esquema de la falla:



### Calculo de la impedancia total

Impedancias total de la falla:

$$Z_{total2} := \frac{1}{\frac{1}{Z_s + Z_{L1}} + \frac{1}{Z_{Motores}}} = (0.011 + 0.015i) \Omega$$

Corriente de Cortocircuito Trifásica Eficaz:

$$I_{k3}^2 := \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot |Z_{total2}|} = 13092.14 \text{ A}$$

### Verificación de la Falla Trifásica 2

Verificación poder de corte  $P_{cc2} \geq I_{k3}^2$

$P_{cc}$  : La capacidad de ruptura del dispositivo de protección, en este caso tenemos dos, los fusibles y El interruptor termomagnético. Como el poder de corte del interruptor termomagnético es menor, se verifica el mismo

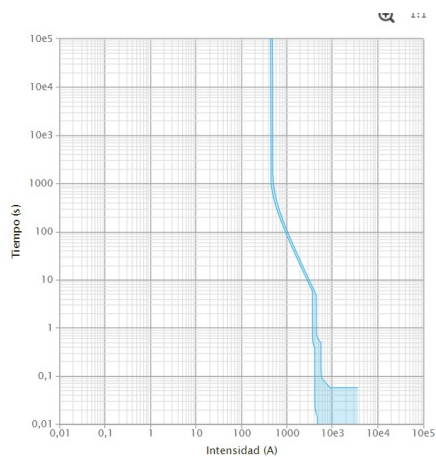
Aparato de protección: ITM Schneider modelo NSX400F (compacto)

Como  $P_{cc2} := 36 \text{ kA}$

Verifica el poder de corte

### Verificación de la sección del conductor

Se elije el tiempo de corte según las dos curvas de actuación de las protecciones, la curva de los fusibles ya se mostro anteriormente y a continuación se muestra la de la termomagnética compacta



El tiempo de actuación del fusible es aproximadamente 0.02s y el de la termomagnética es menor a 0.01s, utilizo el de los fusibles ya que es el mas desfavorable

$t_2 := 0.02 \text{ s}$

$$k_2 := 115 \frac{\text{A} \cdot \text{s}^{\frac{1}{2}}}{\text{mm}^2}$$

Factor del tipo de conductor:  
se obtiene por la siguiente  
tabla de la AEA 90364

( conductor de cobre  
con aislación PVC)

La sección mínima de la Línea debe ser:

$$S_2 := \frac{I_{k3}^2 \cdot \sqrt{t_2}}{k_2} = 16.1 \text{ mm}^2$$

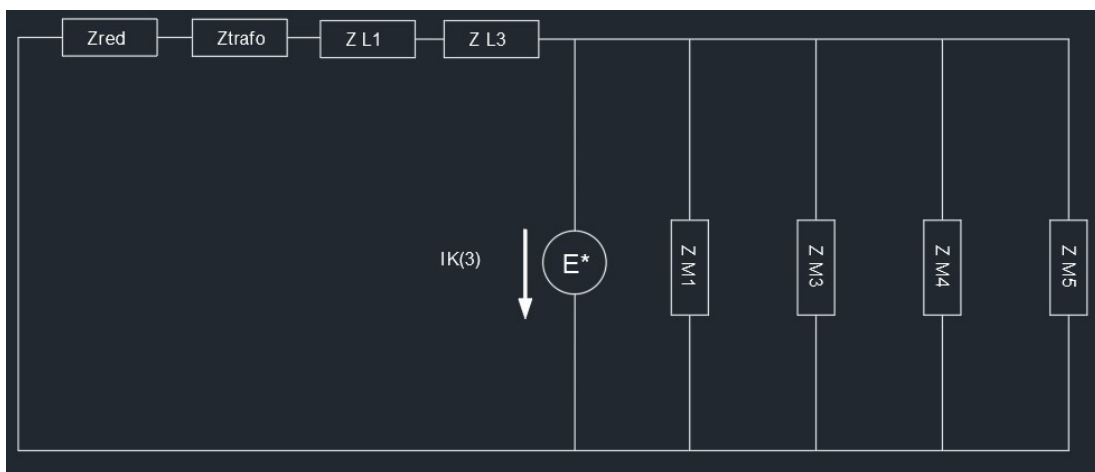
Como el conductor es de sección de fase es de 70 mm<sup>2</sup>

Verifica la Sección

Además el neutro tiene una sección de 35 mm<sup>2</sup>

### Calculo de la Falla 3 - Tablero Seccional Transporte Neumático

Esquema de la falla:



### Calculo de la impedancia total

Impedancias total de la falla:

$$Z_{Motores1} := \frac{1}{\frac{1}{Z_{M1}} + \frac{1}{Z_{M3}} + \frac{1}{Z_{M4}} + \frac{1}{Z_{M5}}} = (0.155 + 0.368i) \Omega$$

$$Z_{total3} := \frac{1}{\frac{1}{Z_s + Z_{L1} + Z_{L3}} + \frac{1}{Z_{Motores1}}} = (0.012 + 0.016i) \Omega$$

Corriente de Cortocircuito Trifásica Eficaz:

$$I_{k3} := \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot |Z_{total3}|} = 12443.46 \text{ A}$$

### Verificación de la Falla Trifásica 3

Verificación poder de corte  $P_{cc2} \geq I_{k3}3$

$P_{cc}$  : La capacidad de ruptura del dispositivo de protección, en este caso tenemos un interruptor termomagnético en el tablero seccional que alimenta al motor y otro interruptor termomagnético compacto aguas arriba en el tablero principal.

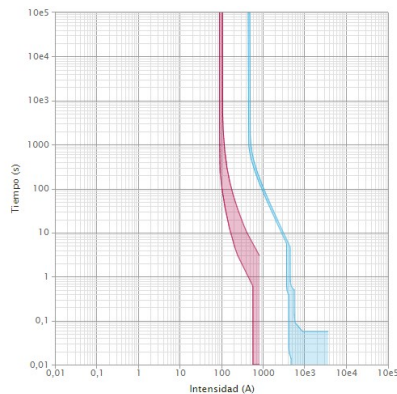
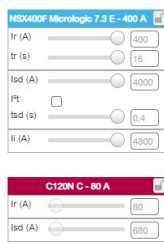
Aparato de protección aguas arriba : ITM Schneider modelo C120N 80A

$P_{cc3}1 := 10 \text{ kA}$  **No verifica el poder de corte**

Según la AEA 90364/7 en el punto 771.19.2.2, dice que será admitida la instalación de un dispositivo con una capacidad de ruptura inferior, con la condición que otro dispositivo con la necesaria capacidad de ruptura sea instalado del lado de alimentación o lado fuente. Y como el interruptor termomagnético instalado en el tablero principal tiene una capacidad de ruptura de 36kA esta termomagnética instalada sería aceptada.

### Verificación de la sección del conductor

Con el software de Schneider comprobamos la selectividad entre ambos dispositivos y podemos observar que la termomagnética más pequeña actuará primero



$t_3 := 0.01 \text{ s}$  (Tiempo máximo de actuación de la protección)

La sección mínima de la Línea debe ser:

$$S_3 := \frac{I_{k3}3 \cdot \sqrt{t_3}}{k_2} = 10.82 \text{ mm}^2$$

**Verifica la Sección**

Como el conductor es de sección de fase es de  $35 \text{ mm}^2$

Además el neutro tiene una sección de  $16 \text{ mm}^2$

Como el conductor que alimenta el motor de mayor potencia (M2) es de  $16 \text{ mm}^2$  también verifica esta sección.