

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | CAPÍTULO 1: CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO .....     | 2  |
| 1.1.   | Lugar de aplicación.....                             | 3  |
| 1.1.1. | Descripción global de la empresa.....                | 3  |
| 1.1.2. | Estructura organizacional .....                      | 3  |
| 1.1.3. | Funciones que desempeña la empresa .....             | 4  |
| 1.2.   | Descripción del Área de ambiente, aseo y ornato..... | 7  |
| 1.2.1. | Departamento de gestión de residuos .....            | 7  |
| 1.2.2. | Departamento de paisajismo urbano .....              | 7  |
| 1.2.3. | Departamento de arbolado urbano.....                 | 7  |
| 1.2.4. | Departamento de medio ambiente .....                 | 8  |
| 1.3.   | Tipos de proyectos del área .....                    | 8  |
| 1.3.1. | Proyecto de reciclaje.....                           | 9  |
| 1.3.2. | Planta de compostaje .....                           | 10 |
| 1.4.   | Problemática .....                                   | 10 |
| 1.5.   | Objetivo general.....                                | 12 |
| 1.6.   | Objetivos específicos .....                          | 12 |
| 1.7.   | Resultados tangibles esperados.....                  | 12 |
| 2.     | CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA.....         | 13 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.1.   | Marco teórico .....  | 14 |
| 2.1.1. | Estudio del proyecto como proceso cíclico .....                                  | 14 |
| 2.1.2. | Evaluación técnica .....   | 16 |
| 2.1.3. | Norma Chilena 181 – 2006 (NCh 181) .....   | 16 |
| 2.1.4. | Análisis de la relación de actividades .....                                     | 17 |
| 2.1.5. | Flujo de caja .....  | 20 |
| 2.1.6. | Indicadores de rentabilidad .....  | 22 |
| 2.1.7. | Tipos de plásticos .....   | 24 |
| 2.2.   | Metodología de solución y programación de actividades .....                      | 26 |
| 2.2.1. | Metodología .....  | 26 |
| 2.2.2. | Programación de actividades .....  | 27 |
| 3.     | CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....                             | 29 |
| 3.1.   | Proyecto “Talca Recicla” .....   | 30 |
| 3.1.1. | Centros de Reciclaje Municipal (CMR) .....                                       | 30 |
| 3.2.   | Oferta del plástico PET .....  | 31 |
| 3.2.1. | Reciclaje del plástico PET en el mundo .....                                     | 31 |
| 3.2.2. | Reciclaje del plástico PET en Chile .....  | 32 |
| 3.2.3. | Plástico PET recaudado en el centro de acopio de la municipalidad de Talca... 34 |    |
| 3.3.   | Elaboración de ladrillo ecológico con base de cemento y PET .....                | 36 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.3.1. | Estudio investigado .....  | 37 |
| 3.3.2. | Dosificación.....  | 38 |
| 3.4.   | Plantas para la producción de ladrillos ecológicos .....                                     | 38 |
| 3.4.1. | Proyecto “Adoquines ecológicos hechos de material reciclado PET” .....                       | 39 |
| 3.4.2. | Proyecto “Diseño del proceso de producción de ladrillos basados en plástico reciclado” ..... | 39 |
| 3.4.3. | Proyecto “Ladrillos ecológicos con material reciclado PET” .....                             | 40 |
| 3.4.4. | Comparación entre proyectos .....  | 40 |
| 4.     | CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE PROYECTO .....  | 42 |
| 4.1.   | Descripción del producto .....   | 43 |
| 4.1.1. | Estructura.....  | 43 |
| 4.1.2. | Composición.....   | 44 |
| 4.2.   | Estudio de mercado.....  | 44 |
| 4.2.1. | Consumo de ladrillos en el mercado.....  | 44 |
| 4.2.2. | Valor de venta en el mercado .....   | 46 |
| 4.2.3. | Mercado apuntado al consumo del producto.....  | 47 |
| 4.3.   | Definición de la capacidad de la planta .....  | 49 |
| 4.3.1. | Disposición de PET desde recolección domiciliaria .....                                      | 50 |
| 4.3.2. | Disposición de PET desde recolección en CMR.....   | 53 |
| 4.3.3. | Disposición final de PET .....   | 55 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 4.4.    | Diseño de los procesos de producción del ladrillo ecológico .....         | 56 |
| 4.4.1.  | Diseño lógico de los procesos .....                                       | 57 |
| 4.4.2.  | Capacidad y flujo de los procesos .....                                   | 59 |
| 4.5.    | Selección de tecnologías .....  | 64 |
| 4.5.1.  | Selección de planta de trituración, lavado y secado de plástico PET ..... | 64 |
| 4.5.2.  | Selección de planta productora de ladrillos .....                         | 68 |
| 4.5.3.  | Selección de mezcladora .....   | 71 |
| 4.5.4.  | Selección de transportador de tornillo .....                              | 74 |
| 4.6.    | Diseño de centros de trabajo .....  | 76 |
| 4.6.1.  | Acopio de plástico .....  | 77 |
| 4.6.2.  | Tratamiento de PET .....  | 77 |
| 4.6.3.  | Producción de ladrillos .....   | 79 |
| 4.6.4.  | Dosificación de insumos.....  | 80 |
| 4.6.5.  | Bodega de insumos.....  | 81 |
| 4.6.6.  | Planta de curado.....   | 82 |
| 4.6.7.  | Bodega de almacenado .....  | 83 |
| 4.6.8.  | Zona de despacho .....  | 84 |
| 4.6.9.  | Oficina del encargado de planta .....                                     | 85 |
| 4.6.10. | Baños .....   | 86 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 4.6.11. | Resumen de centros de trabajo .....                                   | 87  |
| 4.7.    | Organigrama .....   | 87  |
| 4.8.    | Localización y <i>layout</i> final de la planta .....                 | 88  |
| 4.8.1.  | Localización de la planta de producción de ladrillos ecológicos ..... | 88  |
| 4.8.2.  | Diseño del <i>Layout</i> final .....                                  | 89  |
| 5.      | CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN DE IMPACTOS .....                              | 94  |
| 5.1.    | Impacto ambiental.....  | 95  |
| 5.1.1.  | Lista de chequeo .....  | 95  |
| 5.2.    | Impacto tecno-económico.....  | 97  |
| 5.2.1.  | Parámetros .....  | 97  |
| 5.2.2.  | Inversiones.....  | 99  |
| 5.2.3.  | Calendarios .....   | 100 |
| 5.2.4.  | Ingresos.....   | 100 |
| 5.2.5.  | Costos .....  | 102 |
| 5.2.6.  | Capital de trabajo.....   | 104 |
| 5.2.7.  | Valor de desecho .....  | 104 |
| 5.2.8.  | Flujo de caja .....   | 105 |
| 6.      | CONCLUSIONES.....   | 109 |
| 7.      | BIBLIOGRAFÍA.....   | 110 |

8. ANEXOS ..... 122

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ciclo de proyectos ..... 14

Ilustración 2: Esquema de estudio de viabilidad económica ..... 15

Ilustración 3: Definición de códigos del diagrama de relación de actividades ..... 18

Ilustración 4: Ejemplo de diagrama de relación de actividades ..... 19

Ilustración 5: Ejemplo de Hoja de trabajo de relación de actividades ..... 19

Ilustración 6: Bloque que representa el departamento de fabricación ..... 20

Ilustración 7: Metodología del proyecto ..... 26

Ilustración 8: Programación de las actividades en el tiempo (actividades resumen) ..... 28

Ilustración 9: Presentación física de ladrillo ecológico a producir ..... 43

Ilustración 10: Proceso de producción de ladrillo ecológico ..... 56

Ilustración 11: *Layout* del centro de trabajo de acopio de plástico ..... 77

Ilustración 12: *Layout* del centro de trabajo de tratamiento de PET ..... 78

Ilustración 13: *Layout* del centro de trabajo de producción de ladrillos ..... 79

Ilustración 14: *Layout* del centro de trabajo de dosificación de insumos ..... 80

Ilustración 15: *Layout* del centro de trabajo bodega de insumos ..... 81

Ilustración 16: *Layout* del centro de trabajo de planta de curado ..... 83

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 17: <i>Layout</i> del centro de trabajo de bodega de almacenado.....                                      | 84 |
| Ilustración 18: <i>Layout</i> del centro de trabajo “Oficina del encargado de planta”.....                            | 85 |
| Ilustración 19: <i>Layout</i> del centro de trabajo de apoyo “Baños”.....   | 86 |
| Ilustración 20: Organigrama de la planta de producción de ladrillos ecológicos.....                                   | 88 |
| Ilustración 21: Vista satelital de terreno dispuesto para implementación de la planta.....                            | 89 |
| Ilustración 22: Bosquejo adimensional del <i>layout</i> final de la planta de producción de ladrillos ecológicos..... | 91 |
| Ilustración 23: Vista satelital de terreno de implementación con <i>layout</i> final presentado.....                  | 91 |
| Ilustración 24: <i>Layout</i> final de la planta de producción de ladrillos ecológicos.....                           | 93 |

## **ÍNDICE DE TABLAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Resumen de ingresos mensuales de plástico y su comercialización.....                       | 11 |
| Tabla 2: Requisitos de resistencia, absorción y clasificación por peso de bloques de hormigón.....  | 17 |
| Tabla 3: Estructura del flujo de caja.....  | 22 |
| Tabla 4: Nomenclatura de cálculo para VAN.....  | 22 |
| Tabla 5: Dosificación por zona establecida en la NCh163 y cada porcentaje de reemplazo por PET..... | 38 |
| Tabla 6: Comparación de precio por metro cúbico de ladrillos ecológicos existentes.....             | 41 |
| Tabla 7: Edificación autorizada, por superficie según material predominante en muros 201945         |    |
| Tabla 8: Comparación de precio de venta de ladrillos ecológicos y fiscales en Chile.....            | 47 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 9: Resumen de proyectos de transporte y vialidad desarrollados por Ilustre Municipalidad de Talca.....   | 48 |
| Tabla 10: Pronóstico de gastos por proyectos de transporte y vialidad en los próximos diez años .....          | 49 |
| Tabla 11: Resumen de ingreso de PET mensual y semanal en cada mes del año .....                                | 52 |
| Tabla 12: Resumen de comparación de errores entre métodos de proyección.....                                   | 53 |
| Tabla 13: Proyección de PET ingresado a centro de acopio desde CMR en el año 2022 .....                        | 54 |
| Tabla 14: Ingreso de PET a centro de acopio considerando la implementación de recolección domiciliaria.....    | 55 |
| Tabla 15: Disposición final de PET para la planta de producción de ladrillos ecológicos .....                  | 55 |
| Tabla 16: Resumen datos obtenidos por estudio del proceso de selección de plásticos en centro de acopio.....   | 60 |
| Tabla 17:Resumen de kg correspondientes a cada componente de botella.....                                      | 62 |
| Tabla 18: Resumen de dosificación de insumos por periodo de tiempo .....                                       | 63 |
| Tabla 19: AHP cuantificación de importancia de un criterio sobre otro criterio, planta de triturado .....      | 67 |
| Tabla 20: Ponderación de criterios de selección de planta de triturado, lavado y secado.....                   | 67 |
| Tabla 21: Características de plantas de triturado, lavado y secado cotizadas .....                             | 68 |
| Tabla 22: Evaluación de plantas de trituración, lavado y secado de PET.....                                    | 68 |
| Tabla 23: AHP cuantificación de importancia de un criterio sobre otro criterio, P. producción de ladrillo..... | 70 |
| Tabla 24: Ponderación de criterios de selección de planta de producción de ladrillos .....                     | 70 |



|  |    |
|--|----|
| Tabla 25: Características de plantas de producción de ladrillos.....   | 71 |
| Tabla 26: Evaluación de plantas de producción de ladrillos .....   | 71 |
| Tabla 27: AHP cuantificación de importancia de un criterio sobre otro criterio de mezcladora .....               | 73 |
| Tabla 28: Ponderación de criterios de selección de mezcladora .....  | 73 |
| Tabla 29: Características de mezcladoras.....  | 73 |
| Tabla 30: Evaluación de mezcladoras .....  | 74 |
| Tabla 31: AHP cuantificación de importancia de un criterio sobre otro criterio de transportador de tornillo..... | 75 |
| Tabla 32: Ponderación de criterios de selección de transportador de tornillo.....                                | 76 |
| Tabla 33: Características de transportadores de tornillo .....   | 76 |
| Tabla 34: Evaluación de transportadores de tornillo .....  | 76 |
| Tabla 35: Simbología del <i>layout</i> del centro de trabajo de tratamiento de PET .....                         | 78 |
| Tabla 36: Simbología del <i>layout</i> del centro de trabajo de producción de ladrillos .....                    | 79 |
| Tabla 37: Simbología del <i>layout</i> del centro de trabajo de dosificación de insumos .....                    | 80 |
| Tabla 38: Simbología del <i>layout</i> del centro de trabajo bodega de insumos .....                             | 82 |
| Tabla 39: Simbología del <i>layout</i> del centro de trabajo de planta de curado.....                            | 83 |
| Tabla 40: Simbología del <i>layout</i> del centro de trabajo de bodega de almacenado.....                        | 84 |
| Tabla 41: Simbología del <i>layout</i> del centro de trabajo “Oficina del encargado de planta” .....             | 85 |
| Tabla 42: Simbología del <i>layout</i> del centro de trabajo de apoyo “Baños” .....                              | 86 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 43: Resumen de centros de trabajo .....  | 87  |
| Tabla 44: Resumen de número de trabajadores por función – 1 turno.....                       | 88  |
| Tabla 45: Relaciones existentes entre los centros de trabajo.....                            | 90  |
| Tabla 46: Hoja de trabajo de la planta de ladrillos ecológicos .....                         | 90  |
| Tabla 47: Matriz de interacciones .....  | 97  |
| Tabla 48: Pronóstico de producción de ladrillos ecológicos en periodos de evaluación .....   | 98  |
| Tabla 49: Proyección de ahorros generados por utilización de ladrillos ecológicos (CLP\$).   | 102 |
| Tabla 50: Balance del personal.....  | 102 |
| Tabla 51: Resumen de costos fijos .....  | 103 |
| Tabla 52: Consumo eléctrico por kilogramo procesado del activo .....                         | 103 |
| Tabla 53: Consumo de agua por kilogramo procesado .....                                      | 103 |
| Tabla 54: Resumen de costos por kilogramo de insumo .....                                    | 104 |
| Tabla 55: Indicadores financieros del flujo de caja incremental en escenario base .....      | 105 |
| Tabla 56: Indicadores financieros del flujo de caja incremental en escenario optimista ..... | 106 |
| Tabla 57: Indicadores financieros del flujo de caja incremental en escenario pesimista ..... | 107 |
| Tabla 58: Resumen de indicadores financieros según escenarios evaluados .....                | 108 |

## **ÍNDICE DE GRÁFICOS**

|   |   |
|---|---|
| Gráfico 1: Porcentajes perteneciente a colaboradores de la Municipalidad de Talca ..... | 4 |
|---|---|

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 2: Estadística de participación ciudadana en CMR's desde Diciembre – 2019 hasta marzo 2020 ..... | 9  |
| Gráfico 3: Recolección de plásticos PET por CMR .....  | 31 |
| Gráfico 4: Recepción de plástico PET en periodo normal .....   | 35 |
| Gráfico 5: Recepción de plástico PET en periodo en pandemia .....  | 36 |
| Gráfico 6: Resistencia a la compresión versus porcentaje de reemplazo para un hormigón G25 .....         | 37 |
| Gráfico 7: Tendencia de gastos por año en proyectos de transporte y vialidad .....                       | 48 |
| Gráfico 8: Cantidad de ladrillos requeridos en proyectos a través de los años .....                      | 49 |
| Gráfico 9: Curva de RSD recolectados en la ciudad de Talca en los últimos cinco años .....               | 51 |

## ÍNDICE DE FÓRMULAS

|  |    |
|--|----|
| Ecuación 1: Total de códigos de relación .....   | 18 |
| Ecuación 2: Cálculo del VAN .....  | 23 |
| Ecuación 3: Cálculo simplificado del VAN .....   | 23 |
| Ecuación 4: Cálculo de la TIR.....   | 23 |
| Ecuación 5: Cálculo simplificado de la TIR.....  | 23 |
| Ecuación 6: Tendencia lineal de recolección de PET en periodo normal .....                         | 34 |
| Ecuación 7: Tendencia logarítmica de recolección de PET en periodo normal .....                    | 35 |
| Ecuación 8: Cálculo de la cantidad de ladrillos por metro cuadrado de muro (sin desperdicio) ..... | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Ecuación 9: Total de PET mensual obtenido por el sistema de recolección domiciliaria.....            | 52 |
| Ecuación 10: Cálculo de capacidad de turno de proceso de selección .....                             | 60 |
| Ecuación 11: Cálculo de horas al día de trabajo para la planta de trituración, lavado y secado ..... | 61 |
| Ecuación 12: Cálculo de consumo de agua semanal por proceso de lavado.....                           | 62 |
| Ecuación 13: Cálculo de consumo energético específico.....   | 65 |
| Ecuación 14: Cálculo de consumo de agua específico .....   | 66 |
| Ecuación 15: Cálculo de diferencia de volumen del ladrillo producido.....                            | 69 |
| Ecuación 16: Cálculo de TREMA .....  | 97 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

|  |     |
|--|-----|
| Anexo 1: Estructura organizacional Municipalidad de Talca (Parte 1)..... | 122 |
| Anexo 2: Estructura organizacional Municipalidad de Talca (Parte 2)..... | 122 |
| Anexo 3: Estructura organizacional Municipalidad de Talca (Parte 3)..... | 123 |
| Anexo 4: Estructura organizacional Municipalidad de Talca (Parte 4)..... | 124 |
| Anexo 5: Estructura organizacional Municipalidad de Talca (Parte 5)..... | 125 |
| Anexo 6: Estructura organizacional Municipalidad de Talca (Parte 6)..... | 126 |
| Anexo 7: Estructura organizacional Municipalidad de Talca (Parte 7)..... | 127 |
| Anexo 8: Ejemplo de diagrama adimensional de bloques.....                | 128 |
| Anexo 9: Programación de las actividades en el tiempo .....              | 129 |

|  |     |
|--|-----|
| Anexo 10: Kilogramos de PET recolectados por CMR en el último periodo .....                            | 130 |
| Anexo 11: Kilogramos de PET recolectado por semana en periodo normal .....                             | 130 |
| Anexo 12: Kilogramos de PET recolectado por semana en periodo en pandemia.....                         | 130 |
| Anexo 13: Recepción de plástico PET desde puesta en marcha de proyecto Talca Recicla..                 | 131 |
| Anexo 14: Diferencia de resistencia a la compresión (28 días) respecto al hormigón patrón              | 132 |
| Anexo 15: Granulometría, densidad relativa y absorción de la arena y gravilla.....                     | 132 |
| Anexo 16: Distribución granulométrica para PET reciclado.....  | 132 |
| Anexo 17: Edificación autorizada total, superficie en metros cuadrados, según región en año 2019 ..... | 133 |
| Anexo 18: Proyectos de transporte y vialidad del año 2016 - Ilustre Municipalidad de Talca .....       | 134 |
| Anexo 19: Proyectos de transporte y vialidad del año 2017 - Ilustre Municipalidad de Talca .....       | 135 |
| Anexo 20: Proyectos de transporte y vialidad del año 2018 - Ilustre Municipalidad de Talca .....       | 136 |
| Anexo 21: Proyectos de transporte y vialidad del año 2019 - Ilustre Municipalidad de Talca .....       | 137 |
| Anexo 22: Residuos sólidos domiciliarios emitidos en los últimos cinco años .....                      | 138 |
| Anexo 23: Comparación de proyecciones en el tiempo .....   | 138 |
| Anexo 24: Datos recolectados de estudio del proceso de selección en centro de acopio municipal .....   | 139 |
| Anexo 25: Pesaje de 10 etiquetas de botellas de plástico PET.....                                      | 139 |

|   |     |
|---|-----|
| Anexo 26: Pesaje de botella PET de tres litros.....   | 140 |
| Anexo 27: Pesaje 10 golillas de plástico PP agregadas a la botella de plástico PET .....                      | 140 |
| Anexo 28: Cantidad de metros cúbicos a producir según el periodo .....  | 141 |
| Anexo 29: Insumos necesarios para producción anual de ladrillos.....  | 142 |
| Anexo 30: Balance de masa de los procesos (Periodo de una semana) .....                                       | 143 |
| Anexo 31: AHP definición de criterio más importante para planta de triturado, lavado y secado .....           | 144 |
| Anexo 32: AHP ¿cuánto más importante? es un criterio para planta de triturado, lavado y secado .....          | 144 |
| Anexo 33: AHP definición de criterio más importante para planta producción de ladrillos..                     | 145 |
| Anexo 34: AHP ¿cuánto más importante? es un criterio para planta de producción de ladrillos .....             | 145 |
| Anexo 35: AHP definición de criterio más importante para mezcladora.....                                      | 146 |
| Anexo 36: AHP ¿cuánto más importante? es un criterio para la mezcladora .....                                 | 146 |
| Anexo 37: AHP definición de criterio más importante para transportador de tornillo .....                      | 146 |
| Anexo 38: AHP ¿cuánto más importante? es un criterio para transportador de tornillo.....                      | 147 |
| Anexo 39: Porcentaje y cantidad del tipo de relación de los centros de trabajo .....                          | 147 |
| Anexo 40: Presentación de <i>layout</i> final en plano del terreno dispuesto por municipalidad de Talca ..... | 148 |
| Anexo 41: Balance de mobiliarios .....  | 149 |
| Anexo 42: Balance de equipos .....  | 149 |

|  |     |
|--|-----|
| Anexo 43: Balance de obras físicas .....   | 150 |
| Anexo 44: Calendario de inversiones (CLP\$).....                                     | 151 |
| Anexo 45: Calendario de venta de activos (CLP\$) .....                               | 152 |
| Anexo 46: Calendario de depreciación (CLP\$).....                                    | 153 |
| Anexo 47: Calendario de valor libro (CLP\$) .....                                    | 154 |
| Anexo 48: Costo de adquisición de adoquín versus costo de proyecto.....              | 155 |
| Anexo 49: Costos de producción – Consumo de servicio eléctrico y agua.....           | 156 |
| Anexo 50: Resumen de kilogramos de insumos consumidos según la producción anual..... | 156 |
| Anexo 51: Resumen de costo anual por compra de insumos .....                         | 156 |
| Anexo 52: Flujo de caja sin proyecto .....   | 157 |
| Anexo 53: Flujo de caja con proyecto – Escenario base .....                          | 158 |
| Anexo 54: Flujo de caja incremental – Escenario base .....                           | 159 |
| Anexo 55: Flujo de caja con proyecto – Escenario optimista .....                     | 160 |
| Anexo 56: Flujo de caja incremental – Escenario optimista .....                      | 161 |
| Anexo 57: Flujo de caja con proyecto – Escenario pesimista .....                     | 162 |
| Anexo 58: Flujo de caja incremental – Escenario pesimista.....                       | 163 |