



UNIVERSIDAD  
**SAN IGNACIO  
DE LOYOLA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**Carrera De Ingeniería Industrial y Comercial**

**MEJORAS EN LA SELECCIÓN Y MOLIENDA DE  
PET PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE  
PRODUCCIÓN DE PELLETS**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero  
Industrial y Comercial**

**GABULLE HUAMAN, JHON HENRY  
JIMENEZ AYBAR, KEVIN JESUS JAIME**

**Asesor:  
Zelada García, Michael Ing., MBA**

**Lima - Perú  
2016**

# JURADO DE LA SUSTENTACION ORAL

.....  
**Presidente**

.....  
**Jurado 1**

.....  
**Jurado 2**

---

**Entregado el:** 20 de enero de 2017

**Aprobado por:**

.....  
**Graduando 1**

**Jhon Henry Gabulle Huamán**

.....  
**Asesor de Tesis:**

**Michael Zelada García**

.....  
**Graduando 2**

**Kevin Jesús Jaime Jiménez Aybar**

**UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Jhon Henry Gabulle Huamán, identificado/a con DNI N° 43672994 Bachiller del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería Industrial y Comercial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi tesis titulada:  
**MEJORA EN LA SELECCIÓN Y MOLIENDA DE PET PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA DE PELLETS**

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de tesis es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones, ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, 23 de enero de 2017

.....  
(Jhon Henry Gabulle Huamán)

DNI N° 43672994

**UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Kevin Jesús Jaime Jiménez Aybar, identificado/a con DNI N° 47264185. Bachiller del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería Industrial y Comercial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi tesis titulada:

**MEJORA EN LA SELECCIÓN Y MOLIENDA DE PET PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA DE PELLETS**

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de tesis es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones, ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, 23 de enero de 2017

.....  
(Kevin Jesús Jaime Jiménez Aybar)

DNI N° 47264185

La calidad, si no está engranada en  
la organización nunca será realidad.

(Phil Crosby, 1995)

**DEDICATORIA de** Jhon Henry Gabulle Huamán  
A mis padres, Henry y Esther, a mi hermano  
Julio, a Ozzy, y Elizabeth C. Y a todas las  
personas que hicieron posible este trabajo.

**DEDICATORIA de** Kevin Jesús J. Aybar Jiménez

Dedico a mis Padres Jesús y Rosa, mi hermana Meisy, quienes me brindaron la fortaleza de seguir adelante, a pesar de las dificultades; que con sus buenos sentimientos y valores me permitieron forjarme como soy, con su mejor apoyo desde que tengo memoria.

**AGRADECIMIENTO de Jhon Henry Gabulle H.**

A Dios, a mi familia, a Elizabeth A. Carpio S. por todo su apoyo. A nuestro asesor, Ing. Michael Zelada G. y Dra. Yvonne C. de Evans por su paciencia y dedicación, y a todas las personas que hicieron posible este trabajo.



**AGRADECIMIENTO de** Kevin Jesús J. Aybar  
Jiménez.

A mi familia, asesor Ing. Michael Zelada G. y Dra. Yvonne C, por su apoyo, orientaciones, su persistencia, su paciencia y su motivación, no cesan mis ganas de agradecerles a ustedes, que esta meta está cumplida.

## INDICE DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>21</b>
<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>22</b>
Identificación Del Problema	22
Formulación Del Problema	24
Problema General	24
Problemas Específicos	24
<b>MARCO REFERENCIAL</b>	<b>25</b>
Antecedentes	25
Antecedentes Internacionales	25
Antecedentes Nacionales	27
Estado Del Arte	29
Marco Teórico	32
Reciclaje de Plástico	33
Concepto de PET	33
Tipos de PET	35
Proceso de Fabricación del PET	36
Particularidades del PET	36
Propiedades fisicoquímicas y mecánicas del PET	37
El reciclaje de plástico PET	37
Etapa del reciclaje de plástico.	38
El Reciclaje mecánico.	39
Capacidad de Producción	40
Merma	40
Tipo de Sistema de Producción	41
Distribución de planta.	41
Herramientas	42
Diagrama de Árbol.	42
Los 5 porqués	42
Diagrama de Pareto	43
Diagrama de Operaciones del Proceso	44
Diagrama de Actividades del Proceso	45

Diagrama de Flujo de Procesos	46
Estandarización de procesos	47
<b>OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>48</b>
Objetivo General	48
Objetivos Específicos	48
<b>JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>49</b>
Justificación Teórica	49
Justificación Práctica.	49
Justificación Social.	50
<b>HIPOTESIS</b>	<b>51</b>
Hipótesis General:	51
Hipótesis Específica 1:	51
Hipótesis Específica 2:	51
Hipótesis Específica 3:	51
Hipótesis Específica 4:	51
<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>	<b>52</b>
<b>MARCO METODOLOGICO</b>	<b>54</b>
Metodología.	54
Paradigma.	54
Enfoque.	55
Método.	55
<b>VARIABLES</b>	<b>56</b>
Variable independiente.	56
Variable Dependiente.	56
<b>POBLACION Y MUESTRA</b>	<b>57</b>
Población.	57
Muestra.	57
<b>UNIDAD DE ANALISIS</b>	<b>58</b>
<b>INSTRUMENTOS Y TECNICAS</b>	<b>59</b>
Instrumentos.	59

Técnicas	59
<b>PROCEDIMIENTOS Y METODO DE ANALISIS</b>	<b>60</b>
Procedimiento.	60
Procedimiento para Objetivo 1	60
Procedimiento para Objetivo 2	60
Procedimiento para Objetivo 3	61
Procedimiento para Objetivo 4	61
Método de análisis	61
<b>RESULTADOS</b>	<b>62</b>
Objetivo 1	62
Desarrollo de Objetivo Especifico 1:	62
Objetivo 2	67
Desarrollo de Objetivo Especifico 2:	67
Selección-Mermas	68
Identificar Problemas que generan Merma en la Etapa de Selección	68
Diagrama de Actividades de Etapa de Selección	69
Identificando acciones correctivas para reducir los mermas	71
Molienda – Tiempos Muertos	72
Actividades Deficientes en Etapa Actual de Molienda	74
Identificando acciones correctivas para reducir los tiempos muertos	76
Objetivo 3	77
Desarrollo de Objetivo Especifico 3:	77
Objetivo 4	85
Desarrollo y propuesta de Objetivo Especifico 4:	85
Propuesta	90
<b>DISCUSION</b>	<b>106</b>
Conclusiones	106
Recomendaciones	107
Sugerencias	108
<b>REFERENCIAS</b>	<b>109</b>
<b>ANEXOS O APENDICES</b>	<b>115</b>

<b>FORMATO DE INSTRUMENTOS</b>	<b>115</b>
Otros anexos	115
Presupuesto	116
Documentación de Estandarización	117
Diagrama de Flujo de las otras etapas de producción de pellets de PET	128
Descripción literal detallada del proceso de fabricación del producto Actual.	135
Capacidad de Planta	156
Capacidad de Producción	160
Estado de Ganancias y Pérdidas M. Galindo S.A.C.	165

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Descripción de Herramientas del DOP</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 2. Descripción de Herramientas del DAP</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 3. Descripción de Herramientas de Flujo de Procesos</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 4. Matriz de Consistencia.</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 5. Mermas por Etapa de Producción de Pellets de PET</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 6. Merma por tipología</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 7. Tiempo Real de Producción de Pellets de PET por Etapas</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 8. Identificación de Causa y Acciones Correctivas de la Merma</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 9. Identificación acciones correctivas de los tiempos muertos</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 10. Producción Actual del Proceso Total</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 11. Merma Actual del Proceso Selección</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 12. Producción actual por etapa</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 13. Porcentaje de Merma por etapa</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 14. Tiempo Real de producción Actual</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 15. Tiempo Muerto Actual por Etapas</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 16. Porcentaje de Tiempos por etapa</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 17. Comparación de producción actual y propuesta</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 18. Comparación de Tiempo de proceso actual y propuesta</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 19. Capacidad real actual de las etapas de selección y molienda.</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 20. Costos por Propuesta de Mejora</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 21. Capacidad Producción Mensual Actual.</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 22. Capacidad de Producción Mensual Propuesta</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 23. Análisis de Costo - Beneficio</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 24. Cantidad de Mermas Actual</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 25. Cantidad de Mermas Propuesta (TN)</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 26. Costo y Ahorro de Mejora</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 27. Costo de Adquisición de Motor Trifásico Nuevo</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 28. Costo por mantenimiento de Motor Trifásico actual</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 29. Beneficio por adquisición de Motor Trifásico Nuevo</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 30. Beneficio por mantenimiento de Motor Trifásico actual</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 31. Producción del Proceso de acuerdo a propuesta</b>	<b>99</b>
<b>Tabla 32. Producción de Merma de Selección de acuerdo a propuesta</b>	<b>100</b>
<b>Tabla 33. Producción de todo el proceso de acuerdo a Propuesta</b>	<b>101</b>

<b>Tabla 34. Porcentaje de Merma de acuerdo a propuesta</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 35. Tiempo real de producción propuesto</b>	<b>102</b>
<b>Tabla 36. Tiempo muerto propuesto por etapa</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 37. Porcentaje de tiempo por etapa</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 38. Producción actual y propuesta</b>	<b>105</b>
<b>Tabla 39. Capacidad de la etapa de molienda</b>	<b>105</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. PET como botella</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2. Pellets de PET</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3. Canal de la Cadena de Reciclaje de PET</b>	<b>33</b>
<b>Figura 4. Fórmula Química del Monómero del PET.</b>	<b>34</b>
<b>Figura 5. Formula Química.</b>	<b>34</b>
<b>Figura 6. Simbología del PET.</b>	<b>35</b>
<b>Figura 7. Propiedades del PET.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 8. Diagrama de Árbol.</b>	<b>42</b>
<b>Figura 9. Diagrama de Pareto</b>	<b>43</b>
<b>Figura 10. Merma por Etapa de Producción de Pellets de PET</b>	<b>63</b>
<b>Figura 11. Diagrama de Pareto de Merma</b>	<b>63</b>
<b>Figura 12. Diagrama de Pareto</b>	<b>64</b>
<b>Figura 13. Tiempo Real de Producción Extra de Pellets de PET por Etapas</b>	<b>65</b>
<b>Figura 14. Diagrama de Pareto de Tiempo Real de Producción</b>	<b>66</b>
<b>Figura 15. Tiempo obtenido en 30 días de etapa de selección</b>	<b>66</b>
<b>Figura 16. Diagrama de Árbol de Etapa de Selección</b>	<b>68</b>
<b>Figura 17. Diagrama de actividades actual de la etapa de selección</b>	<b>69</b>
<b>Figura 18. Diagrama de flujo actual de la etapa de selección</b>	<b>70</b>
<b>Figura 19. Diagrama de operaciones actual de la etapa de molienda</b>	<b>72</b>
<b>Figura 20. Diagrama de actividades actual de etapa de molienda</b>	<b>73</b>
<b>Figura 21. Diagrama de Flujo Actual de la Etapa de Molienda</b>	<b>75</b>
<b>Figura 22. Producción Actual</b>	<b>78</b>
<b>Figura 23. Merma Actual del Proceso de Selección</b>	<b>79</b>
<b>Figura 24. Tiempo Real de Producción Actual</b>	<b>82</b>
<b>Figura 25. Diagrama de Actividades Propuesto de la Etapa de Acopio</b>	<b>92</b>
<b>Figura 26. Diagrama de Actividades Propuesto de la Etapa de Selección</b>	<b>93</b>
<b>Figura 27. Diagrama de Actividades Propuesto de la Etapa de Molienda</b>	<b>94</b>
<b>Figura 28. Diagrama de Flujo Propuesta de la Etapa de Acopio</b>	<b>95</b>
<b>Figura 29. Diagrama de Flujo Propuesto de la Etapa de Selección</b>	<b>96</b>
<b>Figura 30. Diagrama de Flujo Propuesto de la Etapa de Molienda</b>	<b>97</b>
<b>Figura 31. Producción del proceso total</b>	<b>99</b>
<b>Figura 32. Producción de Merma de Proceso de Selección</b>	<b>100</b>
<b>Figura 33. Diagrama de tiempo real de producción propuesto</b>	<b>103</b>



## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1. Cronograma de Actividades</b>	<b>115</b>
<b>Anexo 2. Capital Humano</b>	<b>116</b>
<b>Anexo 3. Servicios</b>	<b>116</b>
<b>Anexo 4. Bienes y Materiales</b>	<b>117</b>
<b>Anexo 5. Resumen</b>	<b>117</b>
<b>Anexo 6. Documento de Estandarización de la Etapa de Acopio Página 1</b>	<b>118</b>
<b>Anexo 7. Documento de Estandarización de la Etapa de Acopio Página 2</b>	<b>119</b>
<b>Anexo 8. Documento de Estandarización de la Etapa de Acopio Página 3</b>	<b>120</b>
<b>Anexo 9. Documento de Estandarización de la Etapa de Acopio Página 4</b>	<b>121</b>
<b>Anexo 10. Documento de Estandarización de la Etapa de Selección Página 1</b>	<b>122</b>
<b>Anexo 11. Documento de Estandarización de la Etapa de Selección Página 2</b>	<b>123</b>
<b>Anexo 12. Documento de Estandarización de la Etapa de Molienda Página 1</b>	<b>124</b>
<b>Anexo 13. Documento de Estandarización de la Etapa de Molienda Página 2</b>	<b>125</b>
<b>Anexo 14. Documento de Estandarización de Clasificación de Plásticos Pág. 1</b>	<b>126</b>
<b>Anexo 15. Documento de Estandarización de Clasificación de Plásticos Pág. 2</b>	<b>127</b>
<b>Anexo 16. Diagrama de Flujo de Etapa de Inspección</b>	<b>128</b>
<b>Anexo 17. Diagrama de Flujo de Etapa de Remoción</b>	<b>129</b>
<b>Anexo 18. Diagrama de Flujo de Etapa de Limpieza 1</b>	<b>130</b>
<b>Anexo 19. Diagrama de Flujo de Etapa de Limpieza 2</b>	<b>131</b>
<b>Anexo 20. Diagrama de Flujo de Etapa de Secado 1</b>	<b>132</b>
<b>Anexo 21. Diagrama de Flujo de Etapa de Secado 2</b>	<b>133</b>
<b>Anexo 22. Diagrama de Flujo de Etapa de Peletizado</b>	<b>134</b>
<b>Anexo 23. Proceso de Producción de Pellets de PET- Actual.</b>	<b>135</b>
<b>Anexo 24. Diagrama de operaciones del proceso actual</b>	<b>145</b>
<b>Anexo 25. Diagrama de operaciones actual de la etapa de selección</b>	<b>146</b>
<b>Anexo 26. Análisis Inicial de la Situación Actual</b>	<b>147</b>
<b>Anexo 27. Cumplimiento de programación de producción.</b>	<b>147</b>
<b>Anexo 28. Diagrama de Cumplimiento de programación de producción.</b>	<b>148</b>
<b>Anexo 29. Mermas de Proceso de Producción.</b>	<b>148</b>
<b>Anexo 30. Diagrama de Mermas de Proceso de Producción</b>	<b>149</b>
<b>Anexo 31. Número de reclamos</b>	<b>149</b>
<b>Anexo 32. Diagrama de Número de reclamos</b>	<b>150</b>
<b>Anexo 33. Tiempo Real de Producción</b>	<b>150</b>

<b>Anexo 34. Diagrama de Tiempo Real de Producción</b>	<b>151</b>
<b>Anexo 35. Kilos de Pellets de PET rechazados.</b>	<b>151</b>
<b>Anexo 36. Diagrama de Kilos de Pellets de PET rechazados.</b>	<b>152</b>
<b>Anexo 37. Número de accidentes menores en la planta.</b>	<b>152</b>
<b>Anexo 38. Diagrama de Número de accidentes menores en la planta.</b>	<b>153</b>
<b>Anexo 39. Matriz Macro Indicador – Impacto. Puntaje Total</b>	<b>155</b>
<b>Anexo 40. Capacidad de Planta</b>	<b>156</b>
<b>Anexo 41. Producción por Etapa</b>	<b>157</b>
<b>Anexo 42. Balance de Materia</b>	<b>157</b>
<b>Anexo 43. Balance de Materia</b>	<b>158</b>
<b>Anexo 44. Capacidad de Planta por Etapa Septiembre 2016.</b>	<b>159</b>
<b>Anexo 45. Capacidad de Producción</b>	<b>160</b>
<b>Anexo 46. Entrada y Salida por Etapa. Setiembre 2016</b>	<b>160</b>
<b>Anexo 47. Entrada y Salida Diaria Promedio Setiembre 2016</b>	<b>160</b>
<b>Anexo 48. Producción diaria Etapa Molienda. Setiembre 2016</b>	<b>161</b>
<b>Anexo 49. Diagrama de Producción diaria Etapa Molienda. Setiembre 2016</b>	<b>162</b>
<b>Anexo 50. Producción diaria Etapa Selección. Setiembre 2016</b>	<b>163</b>
<b>Anexo 51. Diagrama de Producción diaria Etapa Selección. Setiembre 2016</b>	<b>164</b>
<b>Anexo 52. Estado de Ganancias y Pérdidas M. Galindo S.A.C</b>	<b>165</b>

## RESUMEN

En el siguiente trabajo de investigación se realiza el estudio para una propuesta de mejoras en las etapas de selección y molienda de PET para incrementar la capacidad de producción de pellets, en la planta recicladora Galindo S.A.C.; dedicada a la producción de pellets, en base a Tereftalato de Polietileno reciclado.

En la actualidad esta empresa presenta deficiencias en la capacidad de producción de las etapas de selección y molienda de PET, debido a una inadecuada gestión y poco conocimiento de las actividades relevantes, falta de capacitación del personal, falta de registro de indicadores, documentación y metodología adecuada para realizar los procesos y, un exceso de merma en la producción. Todos estos factores generan una pérdida de capacidad de producción de pellets.

Para este trabajo, utilizaremos herramientas de ingeniería como: el diagrama de actividades de la etapa de molienda, el diagrama de operaciones de cada etapa, estandarización de procesos, diagrama de flujos, lo cual nos ayudará a identificar las deficiencias y las oportunidades para mejorar las etapas de selección y molienda de PET de la planta recicladora M. Galindo S.A.C.

Tenemos como objetivos específicos, un diagnóstico de las etapas relevantes del proceso de producción de pellets, identificar y cuantificar las actividades que podrían mejorar, y analizar el costo beneficio.

Esta propuesta de mejora tiene como objetivo principal incrementar la capacidad de producción de pellets de PET reciclado, reduciendo el tiempo muerto de la molienda y la merma de la selección en la planta recicladora M. Galindo S.A.C.

Palabras clave: proceso, productividad, mejora, actividades, estandarización

## **ABSTRACT**

In the following work research, a study is carried out in order to propose improvements in the selection and grinding of PET to increase pellet production capacity in the recycling plant Galindo S.A.C.; dedicated to the production of pellets, based on recycled polyethylene terephthalate.

At present, this company presents deficiencies in its production capacity of PET sorting and grinding stages, due to poor management and little knowledge of relevant activities, lack of training of personnel, lack of registration of indicators, poor documentation and adequate methodology to carry out the processes and an excess of production waste. All these factors generate a low pellet production capacity.

For this investigation, we will use engineering tools such as: the activity diagram of the grinding stage, the operation diagram of each stage, process standardization, flow diagram; which will help us to identify the deficiencies and opportunities to improve the selection and grinding stages of PET of the recycling plant M. Galindo S.A.C.

Specific objectives are to carry out a diagnosis of the relevant stages of the pellet production process, identify and quantify the activities that could improve and analyze the cost benefit.

This improvement proposal has as a main objective to increase the pellet production capacity of recycled PET, reducing the downtime of the grinding and the selection waste; and thus, to improve these stages in the recycling plant M. Galindo S.A.C.

Key words: process, productivity, improvement, activities, standardization