



**UNIVERSIDAD POPULAR  
AUTÓNOMA DEL ESTADO DE PUEBLA**

**Centro Interdisciplinario de Posgrados**

**Investigación y Consultoría**

**Departamento de Ciencias Biológicas**

**Maestría en Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable**

**TESIS**

Diseño y simulación de un modelo computacional para generar  
biodiesel a base de borra de café.

Para obtener el grado de:

**Maestro en Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable**

**PRESENTA:**

**Arq. Silvio López Valencia**

Director

Dr. Francisco Javier Sánchez Ruiz

Co-director

Dra. Maria Rosa Maimone Celorio

Asesor:

Dra. Genoveva Rosano Ortega



**UPAEP – Secretaría General**

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

**Tesis Digitales Restricciones de uso:**

**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Maestría en Ingeniería Ambiental y Desarrollos Sustentable**



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrado

Investigación y Consultoría

Decanato Ciencias Biológicas

Maestría en Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable

**Diseño y simulación de un modelo computacional para generar biodiesel a base de borra de café**

Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable

**Silvio López Valencia**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Francisco Javier Sanchez Ruiz  
Director

  
\_\_\_\_\_  
Dra. María Rosa Maimone Celorio  
Codirector(a)

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Genoveva Rosano Ortega  
Asesora

Puebla, México

2020

Puebla, Pue., a 22 de Abril de 2020

**Dra. Genoveva Rosano Ortega**  
**Directora del Programa de Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable**

**Asunto: Revisión de plagio para proyecto de grado**

**Estimada Doctora Genoveva Rosano Ortega**

Antes que nada, reciba un cordial saludo y nuestro apoyo y compromiso de colaboración con los requerimientos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para las actividades de aseguramiento de la calidad de consolidación del posgrado.

Derivado del proceso de revisión de la herramienta de antiplagio **Safe Assign** se detectaron los siguientes hallazgos:

**Coincidencia Promedio: 24%**

**Coincidencia Máxima: 24%**

Por lo anterior se vislumbra un riesgo **MEDIO** en el análisis del documento para la obtención del grado del **alumno Silvio López Valencia**, en donde se ha revisado el detalle y las citas al interior del documento. Las coincidencias se deben principalmente a la referenciación de normas.

Se anexa reporte del informe de la herramienta.

**ATENTAMENTE**



**Dr. Francisco Javier Sanchez Ruiz**  
**Director de Tesis**

## Originality Report de SafeAssign

### Resumen del informe

## Riesgo medio

Estos documentos contienen una gran cantidad de material citado o parafraseado, y pueden constituir un plagio. Es recomendable realizar una revisión para determinar si el contenido que coincide se ha atribuido correctamente.

### Similitud de texto general

24 %

Coincidencia promedio

24 %

Coincidencia máxima

HUELLA DE CARBONO UPAEP FINAL sin anexos.pdf

### Originality Reports (1)

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado la oportunidad de vivir este momento de mi vida y forjar mi camino, por acompañarme en cada instante y alimentar mi espíritu de fe.

A la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) que siempre he considerado mi alma mater y a la cual le debo mi formación profesional, ya que sin su apoyo desde la licenciatura no hubiese conocido la experiencia de estudiar una carrera universitaria y un posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo financiero que me otorgaron por medio de la beca, sin la cual no hubiese tenido la oportunidad de volver a un aula de clases y vivir una nueva etapa de formación.

A la facultad de Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable y un especial agradecimiento a la Dra. Genoveva Rosano Ortega, que desde un inicio me dio la oportunidad de pertenecer a esta área a pesar de que mi formación profesional era distinta. Gracias por su confianza, consejos y enseñanzas.

Al Dr. Francisco Javier Sánchez Ruiz, que me dio su apoyo completo y me oriento a pesar de todas las circunstancias. Sus conocimientos y enseñanzas fueron motivadores para encaminar y terminar este trabajo y le agradezco sinceramente el tiempo que dedico al acompañamiento y seguimiento. Muy sinceramente le doy las gracias, porque su apoyo fue primordial.

A todos mis catedráticos y compañeros que compartieron sus conocimiento y experiencias en el aula de clases, volver a revivir esta experiencia fue inolvidable.

A la Dra. Maria Rosa que, aunque no tuve la oportunidad de que fuera mi catedrática, si tuve la oportunidad de escuchar sus consejos y platicas y en algún momento de haber tenido charlas de acompañamiento y personales. Gracias doctora.

A mi familia, Pao, Eduardo e Isabel, les agradezco su cariño, comprensión y apoyo incondicional durante esta experiencia, muchas gracias.

A mis padres, que aún tengo la oportunidad de contar con su apoyo y amor.

Para Mary.

Con todo mi cariño.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	14
<b>INTRODUCCION</b> .....	16
<b>CAPITULO 1: Antecedentes generales</b> .....	18
<b>1.1 Justificación del problema.</b> .....	18
<b>1.2 Planteamiento del problema.</b> .....	18
<b>1.3 Objetivo general.</b> .....	18
<b>1.4 Objetivos específicos</b> .....	18
<b>1.5 Alcances.</b> .....	19
<b>1.6 Limitaciones</b> .....	19
<b>CAPITULO 2: Marco teórico.</b> .....	20
<b>2.1 Biocombustibles</b> .....	20
<b>2.2 Tipos de biocombustibles.</b> .....	20
<b>2.3 Biodiesel</b> .....	21
<b>2.4 Material prima para obtención de biodiesel</b> .....	25
<b>2.5 Elección de la fuente para aceite generador de biodiesel.</b> .....	26
<b>2.6 Motores: clasificación</b> .....	30
<b>2.7 Motores diesel</b> .....	32
<b>CAPITULO 3: Metodología</b> .....	35
<b>3.1 Procedimiento inicial: Carga de componentes.</b> .....	35
<b>3.2 Diseño del modelo inicial</b> .....	36
<b>3.2.1 Flujos de entrada:</b> .....	36
<b>3.3 Pruebas para el balance esquetiométrico de los componentes.</b> .....	37
<b>3.3.1 Prueba esquetiométrica 1: balances y resultados.</b> .....	38
<b>3.3.2 Prueba esquetiométrica 2: balances y resultados.</b> .....	39
<b>3.3.3 Prueba esquetiométrica 3: balances y resultados.</b> .....	40
<b>3.3.4 Prueba esquetiométrica 4: balances y resultados.</b> .....	41
<b>3.3.5 Prueba esquetiométrica 5: balances y resultados.</b> .....	42
<b>3.3.6 Prueba esquetiométrica 6: balances y resultados.</b> .....	43
<b>3.3.7 Prueba esquetiométrica 7: balances y resultados.</b> .....	44
<b>3.3.8 Prueba esquetiométrica 8: balances y resultados.</b> .....	45
<b>3.3.9 Prueba esquetiométrica 9: balances y resultados.</b> .....	46
<b>3.3.10 Prueba esquetiométrica 10: balances y resultados.</b> .....	47
<b>3.3.11 Prueba esquetiométrica 11: balances y resultados.</b> .....	48
<b>3.3.12 Prueba esquetiométrica 12: balances y resultados.</b> .....	49
<b>3.3.13 Prueba esquetiométrica 13: balances y resultados.</b> .....	50
<b>3.3.14 Prueba esquetiométrica 14: balances y resultados.</b> .....	51
<b>3.3.15 Prueba esquetiométrica 15: balances y resultados.</b> .....	52
<b>3.3.16 Prueba esquetiométrica 16: balances y resultados.</b> .....	53
<b>3.3.17 Prueba esquetiométrica 17: balances y resultados.</b> .....	54
<b>3.3.18 Prueba esquetiométrica 18: balances y resultados.</b> .....	55
<b>3.3.19 Prueba esquetiométrica 19: balances y resultados.</b> .....	56

3.3.20	Prueba esquetiométrica 20: balances y resultados. ....	57
3.3.21	Prueba esquetiométrica: balances y resultados. ....	58
3.4	Modificación al diseño del modelo inicial: Modelo 2.....	59
3.4.1	Modelo 2: Componentes. ....	59
<b>CAPITULO 4: Resultados y análisis.....</b>		<b>61</b>
4.1	Simulaciones con proporciones variables de los componentes. Temperatura inicial. ....	61
4.1.1	Proporción inicial de los componentes. ....	61
4.1.2	Proporción 2 de los componentes. ....	64
4.1.3	Proporción 3 de los componentes. ....	67
4.1.4	Proporción 4 de los componentes. ....	70
4.1.5	Proporción 5 de los componentes. ....	73
4.1.6	Proporción 6 de los componentes. ....	76
4.1.7	Proporción 7 de los componentes. ....	79
4.1.8	Resumen de resultados de simulaciones: diversas proporciones, temperatura inicial. 82	
4.1.9	Proporción 8: combinación de las mejores proporciones, temperatura inicial.....	82
4.1.10	Resumen de resultados de simulaciones: mejores proporciones, temperatura inicial. 85	
4.2	Simulaciones con las mejores proporciones y variables de temperatura.....	86
4.2.1	Selección de resultados y su definición para efectuar simulación. ....	86
4.2.2	Proporción 9: Proporción inicial, 10°C más de temperatura vs inicial. ....	87
4.2.3	Proporción 10: Proporción inicial, 10°C menos de temperatura vs inicial. ....	90
4.2.4	Proporción 11: Mejor proporción del proceso de simulación, 10°C más de temperatura vs inicial. ....	93
4.2.5	Proporción 12: Mejor proporción del proceso de simulación, 10°C menos de temperatura vs inicial. ....	96
4.2.6	Proporción 13: Mejores promedios de componentes de la proporción del proceso de simulación, 10°C más de temperatura vs inicial. ....	99
4.2.7	Proporción 14: Mejores promedios de componentes de la proporción del proceso de simulación, 10°C menos de temperatura vs inicial. ....	102
4.2.8	Resumen de resultados: proporciones seleccionadas vs variación de temperatura en los calentadores. ....	105
<b>Conclusiones. ....</b>		<b>108</b>
<b>Recomendaciones y trabajo a futuro .....</b>		<b>110</b>
<b>Bibliografía. ....</b>		<b>111</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Balance Nacional de Energía: Consumo final energético total por combustible. (SENER, 2020) .....	16
<b>Figura 2.</b> Balance nacional de energía: Producción de energía primaria (Petajoules). .....	17
<b>Figura 3.</b> Reacción del proceso de transesterificación de un aceite o grasa de animal. ....	25
<b>Figura 4.</b> Principales estados productores de café en México. ....	28
<b>Figura 5.</b> Clasificación de los motores de combustión interna alternativa. ....	31
<b>Figura 6.</b> Proceso de admisión ya acabado, con una presión inicial (Pa). ....	32
<b>Figura 7</b> Estructura básica de un motor de cuatro tiempos con el nombre de sus piezas básicas. .....	32
<b>Figura 8.</b> Estructura de un motor de cuatro tiempos Diesel.....	33
<b>Figura 9.</b> Metanol, parámetros.....	35
<b>Figura 10</b> Propanol, parámetros.....	35
<b>Figura 11.</b> Ácido dodecanoico, parámetros. ....	36
<b>Figura 12.</b> Diagrama de flujo de simulación.....	36
<b>Figura 13.</b> Sección de captura de balance de ecuación esquetiométrica.....	37
<b>Figura 14.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 1. ....	38
<b>Figura 15.</b> Resultado prueba esquetiométrica 1.....	38
<b>Figura 16.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 2.....	39
<b>Figura 17.</b> Resultado prueba esquetiométrica 2.....	39
<b>Figura 18.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 3. ....	40
<b>Figura 19.</b> Resultado prueba esquetiométrica 3.....	40
<b>Figura 20.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 4. ....	41
<b>Figura 21.</b> Resultado prueba esquetiométrica 4.....	41
<b>Figura 22.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 5. ....	42
<b>Figura 23.</b> Resultado prueba esquetiométrica 5.....	42
<b>Figura 24.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 6. ....	43
<b>Figura 25.</b> Resultado prueba esquetiométrica 6.....	43
<b>Figura 26.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 7. ....	44
<b>Figura 27.</b> Resultado prueba esquetiométrica 7.....	44

<b>Figura 28.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 8. ....	45
<b>Figura 29.</b> Resultado prueba esquetiométrica 8.....	45
<b>Figura 30.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 9. ....	46
<b>Figura 31.</b> Resultado prueba esquetiométrica 9.....	46
<b>Figura 32.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 10. ....	47
<b>Figura 33.</b> Resultado prueba esquetiométrica 10.....	47
<b>Figura 34.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 11. ....	48
<b>Figura 35.</b> Resultado prueba esquetiométrica 11.....	48
<b>Figura 36.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 12. ....	49
<b>Figura 37.</b> Resultado prueba esquetiométrica 12.....	49
<b>Figura 38.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 13. ....	50
<b>Figura 39.</b> Resultado prueba esquetiométrica 13.....	50
<b>Figura 40.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 14. ....	51
<b>Figura 41.</b> Resultado prueba esquetiométrica 14.....	51
<b>Figura 42.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 15. ....	52
<b>Figura 43.</b> Resultado prueba esquetiométrica 15.....	52
<b>Figura 44.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 16.....	53
<b>Figura 45.</b> Resultado prueba esquetiométrica 16.....	53
<b>Figura 46.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 17. ....	54
<b>Figura 47.</b> Resultado prueba esquetiométrica 17.....	54
<b>Figura 48.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 18. ....	55
<b>Figura 49.</b> Resultado prueba esquetiométrica 18.....	55
<b>Figura 50.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 19. ....	56
<b>Figura 51.</b> Resultado prueba esquetiométrica 19.....	56
<b>Figura 52.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 20. ....	57
<b>Figura 53.</b> Resultado prueba esquetiométrica 20.....	57
<b>Figura 54.</b> Coeficientes prueba esquetiométrica 21. ....	58
<b>Figura 55.</b> Resultado prueba esquetiométrica 21.....	58
<b>Figura 56.</b> Diagrama del flujo resultado prueba 21 .....	59
<b>Figura 57.</b> Diagrama del flujo primera simulación con la relación estequiométrica adecuada. ...	60

<b>Figura 58.</b> Resultado simulación proporción 1 .....	61
<b>Figura 59.</b> Costo de inversión de capital y utilidad anual en USD.....	63
<b>Figura 60.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción.....	63
<b>Figura 61.</b> Resultado simulación, proporción 2 indicada en la tabla 7. ....	64
<b>Figura 62.</b> Costo para la proporción 2 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	66
<b>Figura 63.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 2. ....	66
<b>Figura 64.</b> Resultado simulación, proporción 3 indicada en la tabla 9. ....	67
<b>Figura 65.</b> Costo para la proporción 3 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	69
<b>Figura 66.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 3. ....	69
<b>Figura 67.</b> Resultado simulación, proporción 4 indicada en la tabla 11. ....	70
<b>Figura 68.</b> Costo para la proporción 4 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	72
<b>Figura 69.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 4 .....	72
<b>Figura 70.</b> Resultado simulación, proporción 5 indicada en la tabla 13. ....	73
<b>Figura 71.</b> Costo para la proporción 5 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	75
<b>Figura 72.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 5 .....	75
<b>Figura 73.</b> Resultado simulación, proporción 6 indicada en la tabla 15. ....	76
<b>Figura 74.</b> Costo para la proporción 6 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	78
<b>Figura 75.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 6 .....	78
<b>Figura 76.</b> Resultado simulación, proporción 7 indicada en la tabla 17. ....	79
<b>Figura 77.</b> Costo para la proporción 7 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	81
<b>Figura 78.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 7. ....	81
<b>Figura 79.</b> Resultado simulación, proporción 8 indicada en la tabla 20. ....	82
<b>Figura 80.</b> Costo para la proporción 8 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	84
<b>Figura 81.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 8. ....	84
<b>Figura 82.</b> Resultado simulación, proporción 9.....	87
<b>Figura 83.</b> Costo para la proporción 9 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	89
<b>Figura 84.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 9. ....	89
<b>Figura 85.</b> Resultado simulación, proporción 10.....	90
<b>Figura 86.</b> Costo para la proporción 10 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	92
<b>Figura 87.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 10. ....	92

<b>Figura 88.</b> Resultado simulación, proporción 11 .....	93
<b>Figura 89.</b> Costo para la proporción 11 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	95
<b>Figura 90.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 11. ....	95
<b>Figura 91.</b> Resultado simulación, proporción 12.....	96
<b>Figura 92.</b> Costo para la proporción 12 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	98
<b>Figura 93.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 12. ....	98
<b>Figura 94.</b> Resultado simulación, proporción 13.....	99
<b>Figura 95.</b> Costo para la proporción 13 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	101
<b>Figura 96.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 13. ....	101
Figura 97. Resultado simulación, proporción 14.....	102
<b>Figura 98.</b> Costo para la proporción 14 de inversión de capital y utilidad anual en USD. ....	104
<b>Figura 99.</b> Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 14. ....	104
<b>Figura 100.</b> Comparativo de Monto de inversión (Mil USD) vs Utilidad (Mil USD) .....	106
<b>Figura 101.</b> Comparativo de Monto de utilidad (Mil USD/year) vs % eficiencia .....	107
<b>Figura 102.</b> Resumen de resultados de análisis de energía activados: Servicios totales (cal/sec) .....	108
<b>Figura 102.</b> Resumen de resultados de análisis de energía activados: Servicios de calefacción (cal/sec) .....	109
<b>Figura 103.</b> Resumen de resultados de análisis de energía activados: Servicios de enfriamiento (cal/sec) .....	109

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ventajas y desventajas del uso del biodiesel .....	22
<b>Tabla 2.</b> Composición química de café utilizado.....	28
<b>Tabla 3.</b> Diferencias en los tiempos de ciclos de un motor de combustión interna y uno de diésel. .....	33
<b>Tabla 4.</b> Proporción de componentes para la simulación en Aspen Plus .....	35
<b>Tabla 5.</b> Proporción de componentes para la simulación en Aspen Plus® .....	61
<b>Tabla 6.</b> Resultados de los componentes. Proporción (Tabla 5).....	62
<b>Tabla 7.</b> Proporción 2 de componentes para la simulación en Aspen Plus® .....	64
<b>Tabla 8.</b> Resultados de los componentes. Proporción 2 (Tabla 7).....	65
<b>Tabla 9.</b> Proporción 3 de componentes para la simulación en Aspen Plus® .....	67
<b>Tabla 10.</b> Resultados de los componentes. Proporción 3 (Tabla 9).....	68
<b>Tabla 11.</b> Proporción 4 de componentes para la simulación en Aspen Plus® .....	70
<b>Tabla 12.</b> Resultados de los componentes. Proporción 4 (Tabla 11) .....	71
<b>Tabla 13.</b> Proporción 5 de componentes para la simulación en Aspen Plus® .....	73
<b>Tabla 14.</b> Resultados de los componentes. Proporción 5 (Tabla 13) .....	74
<b>Tabla 15.</b> Proporción 6 de componentes para la simulación en Aspen Plus® .....	76
<b>Tabla 16.</b> Resultados de los componentes. Proporción 6 (Tabla 15) .....	77
<b>Tabla 17.</b> Proporción 7 de componentes para la simulación en Aspen Plus® .....	79
<b>Tabla 18.</b> Resultados de los componentes. Proporción 7 (Tabla 17) .....	80
<b>Tabla 19.</b> Resumen de resultados de las simulaciones con sus variaciones en flujos de componentes.....	82
<b>Tabla 20.</b> Proporción 8 de componentes para la simulación en Aspen Plus® .....	82
<b>Tabla 21.</b> Resultados de los componentes. Proporción 8 (Tabla 20) .....	83
<b>Tabla 22.</b> Resumen de los resultados de simulación de todas las proporciones a una temperatura de mezcla Metanol-Propanol 80°C; Mezcla con ácido dodecanoico: 120°C. ....	85
<b>Tabla 23.</b> Valores que se toman en cuenta para hacer la simulación con los cambios de temperatura definidos. ....	86

<b>Tabla 24.</b> Proporción 9 (proporción inicial realizada) de componentes para la simulación en Aspen Plus® con una temperatura del calentador de la mezcla Metanol-Propanol 90°C y del calentador del ácido dodecanoico: 130°C. (10°C más que la temperatura original) .....	87
<b>Tabla 25.</b> Resultados de los componentes. Proporción 9 (Tabla 24) a una temperatura del calentador con la mezcla de Metanol-Propanol 90°C y el calentador con ácido dodecanoico: 130°C .....	88
<b>Tabla 26.</b> Proporción 10 (proporción inicial realizada) de componentes para la simulación en Aspen Plus® con una temperatura del calentador de la mezcla Metanol-Propanol 70°C y del calentador del ácido dodecanoico: 110°C. (10°C menos que la temperatura original) .....	90
<b>Tabla 27.</b> Resultados de los componentes. Proporción 10 (Tabla 26) a una temperatura del calentador con la mezcla de Metanol-Propanol 70°C y el calentador con ácido dodecanoico: 110°C .....	91
<b>Tabla 28.</b> Proporción 11 (mejor proporción arrojada en el proceso en cuanto a porcentaje de eficiencia y ahorro de energía) de componentes para la simulación en Aspen Plus® con una temperatura del calentador de la mezcla Metanol-Propanol 90°C y del calentador del ácido dodecanoico: 130°C. (10°C más que la temperatura original) .....	93
<b>Tabla 29.</b> Resultados de los componentes. Proporción 11 (Tabla 28) a una temperatura del calentador con la mezcla de Metanol-Propanol 90°C y el calentador con ácido dodecanoico: 130°C .....	94
<b>Tabla 30.</b> Proporción 12 (mejor resultado de la proporción arrojada en el proceso en cuanto a porcentaje de eficiencia y ahorro de energía) de componentes para la simulación en Aspen Plus® con una temperatura del calentador de la mezcla Metanol-Propanol 70°C y del calentador del ácido dodecanoico: 110°C. (10°C menos que la temperatura original) .....	96
<b>Tabla 31.</b> Resultados de los componentes. Proporción 12 (Tabla 30) a una temperatura del calentador con la mezcla de Metanol-Propanol 70°C y el calentador con ácido dodecanoico: 110°C .....	97
<b>Tabla 32</b> Proporción 13 (combinación de los mejores promedios por cada componente arrojados en el proceso en cuanto a porcentaje de eficiencia y ahorro de energía) para la simulación en Aspen Plus® con una temperatura del calentador de la mezcla Metanol-Propanol 90°C y del calentador del ácido dodecanoico: 130°C. (10°C más que la temperatura original) .....	99

<b>Tabla 33.</b> Resultados de los componentes. Proporción 13 (Tabla 32) a una temperatura del calentador con la mezcla de Metanol-Propanol 90°C y el calentador con ácido dodecanoico: 130°C.....	100
<b>Tabla 34.</b> Proporción 14 (combinación de los mejores promedios por cada componente arrojados en el proceso en cuanto a porcentaje de eficiencia y ahorro de energía) para la simulación en Aspen Plus® con una temperatura del calentador de la mezcla Metanol-Propanol 70°C y del calentador del ácido dodecanoico: 110°C. (10°C menos que la temperatura original).....	102
<b>Tabla 35.</b> Resultados de los componentes. Proporción 14 (Tabla 34) a una temperatura del calentador con la mezcla de Metanol-Propanol 70°C y el calentador con ácido dodecanoico: 110°C.....	103
<b>Tabla 36.</b> Resumen de resultados simulaciones sometidas a variación de temperaturas de los calentadores.....	105
<b>Tabla 37.</b> Datos de la gráfica figura 100 Monto de inversión (Mil USD) vs Utilidad (Mil USD) .....	106
<b>Tabla 38.</b> Datos de la gráfica figura 101 Monto de utilidad (Mil USD) vs %Eficiencia .....	107

## RESUMEN

**Introducción:** El residuo generado a partir de los granos de café molido una vez que se utiliza es una materia prima importante de desecho que contiene aceites que pueden aprovecharse para la extracción de biodiesel y podemos encontrar esta materia prima en grandes cantidades ya sea en cafeterías, tiendas de conveniencia o incluso provenientes de uso doméstico.

La producción de biodiesel inicia desde la recolección del desecho y su transportación, el proceso de secado, la forma de extracción del aceite aplicando métodos diferentes con disolventes que nos modifican la calidad del aceite obtenido, con el fin de generar un mejor producto.

Al igual que otros trabajos realizados en el mundo con este tipo de materia prima, se examinará si el biodiesel que se obtiene es ideal para usarse, tomando en cuenta que el biodiesel es una de las industrias que representa una forma de energía renovable con más auge y desarrollo en la actualidad, además de analizar el costo de producción en diversos escenarios que permitan definir cuál es la mejor opción que genere las utilidades adecuadas de negocio y que tan eficiente es el proceso para generar dichas utilidades. Este proceso se realizará por medio de simulación computacional utilizando el software Aspen Plus V10<sup>®</sup> que contiene los datos más actualizados en cuanto a tipos de componentes y gastos de inversión para generar los resultados esperados.

Al final se espera encontrar el mejor escenario que permita cubrir las necesidades de obtener el biocombustible útil, su costo de producción y que sea redituable.

**Objetivo:** Proponer un modelo computacional a manera de simulación en un software confiable que permita la extracción de aceites para la generación de biodiesel donde se obtengan y comparen los resultados de costos de producción, utilidad y ahorro de energía que lo hagan un modelo eficiente.

**Metodología:** Simular el proceso de un modelo computacional en el software Aspen Plus V10<sup>®</sup> donde se combinen datos de ingreso de flujo de los componentes adecuados para la generación del biodiesel, utilizando las proporciones adecuadas, pruebas estequiométricas, temperaturas ideales de los reactivos en los calentadores y separadores modelados en el software y ejecutando distintas pruebas y simulaciones necesarias posibles para la obtención de datos satisfactorios.

**Resultados:** Datos arrojados por Aspen Plus V10<sup>®</sup> que permitan comparar y determinar los mejores modelos y proporciones que arrojen el mejor escenario de inversión, utilidad, eficiencia y sobre todo de ahorro de energía.

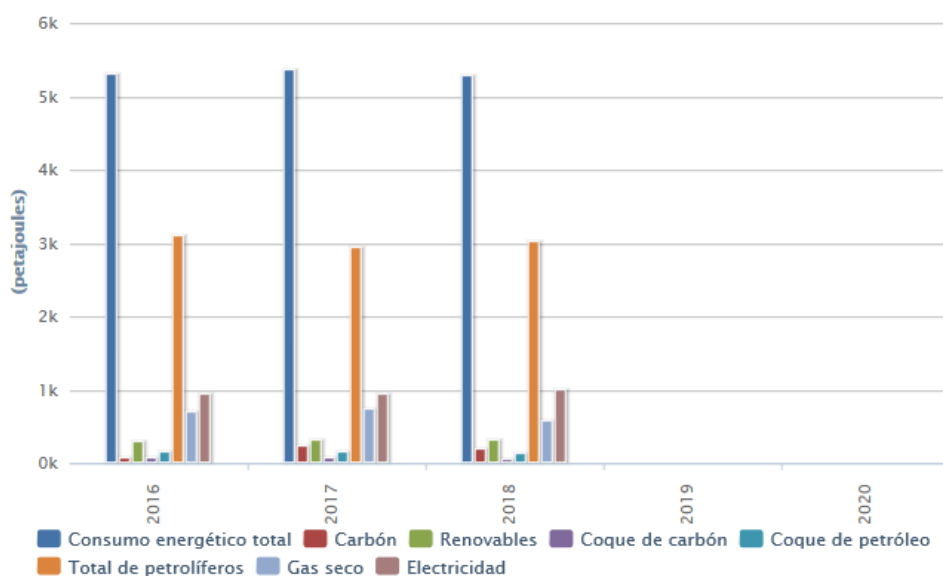
**Palabras clave:** Biodiesel, borra de café, simulación.

## INTRODUCCION

México cuenta con condiciones agroecológicas y una buena situación geográfica que lo ubican como uno de los potenciales productores de energías a partir de elementos bioenergéticos. Actualmente su potencial es limitado por tener un 11% de energía derivada de fuentes renovables mientras que la diferencia, el 89% proviene de los hidrocarburos (Vilaboa-Arroniz, J., Lopez-Collado, J., Platas-Rosado, D., & Vilaboa-Arroniz, I. 2019).

De acuerdo a datos de la Secretaría de Energía (SENER, 2020), México no es autosuficiente en la producción de combustibles de origen fósil. Depende de las importaciones que tienen un doble impacto por la variación de los precios internos de las gasolinas y diésel; por un lado, el precio internacional del barril de petróleo y por otro lado la variación en la tasa de cambio de peso/dólar; por tanto, existe un déficit en la producción de combustibles y una dependencia de los precios externos.

De igual forma la SENER informa que el consumo total de energías en el país hasta el año 2018 dependen de las derivadas del petróleo y solamente un porcentaje muy bajo son producto de energías renovables. La figura 1 expresa esa situación.



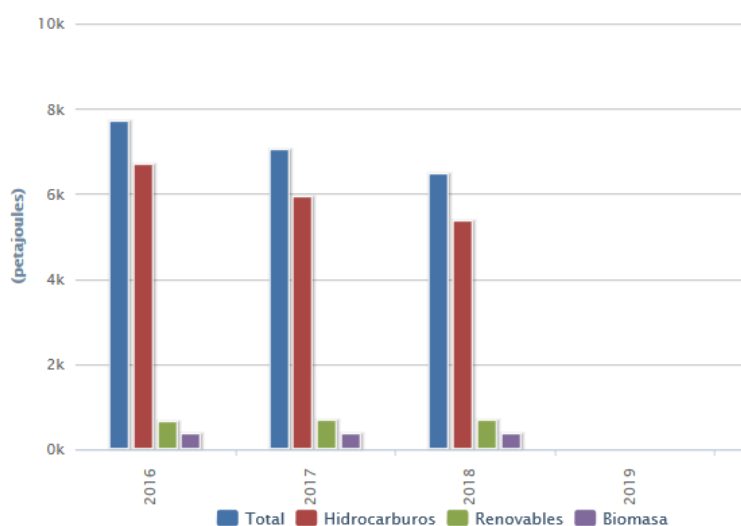
**Figura 1.** Balance Nacional de Energía: Consumo final energético total por combustible. (SENER, 2020)

Informes recientes indican que el consumo de gasolinas en México fue de aproximadamente 823.2 mil barriles diarios (mbd) de los cuales el 81% es gasolina Magna y el resto Premium, pero de este total se importa el 79%. En cuanto al consumo de diésel fue de 387.3 mbd pero el 74% se

importa, es decir, ingresa al país para cubrir la demanda de consumo (Vilaboa-Arroniz et al. 2019).

Por tal motivo, los biocombustibles podrían ser no sólo son una alternativa para el cambio climático, los combustibles fósiles tienden a agotarse y generan un impacto ambiental negativo, los biocombustibles se desarrollan en un contexto de generación de fuentes de energía alternas basadas en utilizar productos de origen agrícola, reutilizables, amigables al medio ambiente y propensos a disminuir los efectos de las concentraciones atmosféricas por los gases de efecto invernadero.

La producción de energías renovables, en relación al total de energía primaria en México, de acuerdo a la Secretaría de Energía, reporta que al final del año 2018, la producción de biomasa derivada de bagazo de caña y de leña representa un 5.7% respecto a la producción total (medida en PJ) y ha venido creciendo en un porcentaje mínimo por año, pero al final permaneciendo dentro de ese crecimiento considerando que el resto de la energía producida en el país se deriva de hidrocarburos y de otras energías renovables, de las cuales estas últimas representan el 10.41% de la producción total anual de energía, lo que significa que la participación de generación de energía de otras fuentes que no son combustibles fósiles representan el 16.11% de la energía total producida en el país, lo que significa que hay un área de oportunidad en este campo y se representa en la siguiente figura 2 (SENER, 2020).



**Figura 2.** Balance nacional de energía: Producción de energía primaria (Petajoules).

(SENER, 2020)

## **CAPITULO 1: Antecedentes generales.**

### **1.1 Justificación del problema.**

Generar una alternativa de producción de biodiesel por medio de los desechos orgánicos, en este caso, la borra de café, desarrollando un proceso de transesterificación simulado de forma computacional por medio de modelos representados en los programas adecuados y cuyo resultados arrojados pueden medirse y evaluarse para introducir biocombustible en automotores y motores industriales para tener una alternativa más dentro del alto consumo de combustibles fósiles y aprovechar los desechos orgánicos generados por varios comercios, restaurantes, cafeterías, tiendas de conveniencia y general la industria del café.

### **1.2 Planteamiento del problema.**

Se generan grandes cantidades de residuos orgánicos provenientes de establecimientos dedicados principalmente al consumo de café y cuyo fin último es el de ser arrojados a la basura, dado que pueden ser aprovechados para la extracción de aceites sometiéndose a un proceso químico de esterificación y transesterificación por medio del cual se obtiene biocombustible. Este proceso se puede medir a través de una simulación con un software computacional en donde se obtienen resultados que miden su rendimiento máximo en cuanto a costo, utilidad, eficiencia y ahorro de energía.

### **1.3 Objetivo general.**

Proponer un modelo de computacional de transesterificación que permita obtener aceites para la producción de biodiesel a través de residuos orgánicos como lo es la borra de café para su utilización en motores de combustión interna.

### **1.4 Objetivos específicos.**

- Determinar la generación de biodiesel a través del proceso de transesterificación.
- Plantear un método para la extracción de aceites que generen biodiesel basados en otros desechos de productos orgánicos.

- Simular el proceso de producción de biodiesel, para obtener su mayor rendimiento a través de herramientas como Aspen Plus V10®
- Comparar los resultados obtenidos en el proceso de simulación para determinar los mejores escenarios de combinación de componentes en el flujo inicial de la simulación.
- Determinar el mejor escenario que arrojen mayor ahorro de energía, menos inversión en el costo de producción, mayores utilidades económicas y mejor efectividad en el proceso de generación del biocombustible.

### **1.5 Alcances.**

- Proponer un sistema teórico térmicamente acoplado para producción de biodiesel.
- Diseñar el modelo adecuado de simulación realizando las pruebas necesarias que arrojen los datos con los mejores propuestas y resultados.
- Simular el sistema planteado que proporcione mayor rendimiento.
- Justificar los mejores escenarios que arrojen datos confiables en cuanto a inversión, utilidad, eficiencia y ahorro de energía.

### **1.6 Limitaciones**

- Tiempo disponible para realizar la simulación.
- Acceso al programa Aspen Plus V10® por el costo de la licencia.
- Costo del proceso de producción obtenido por el simulador Aspen Plus V10.
- Eficiencia del proceso respecto a la inversión que se tenga que realizar para la generación del combustible.

## CAPITULO 2: Marco teórico.

### 2.1 Biocombustibles.

Un biocombustible es un combustible que se genera por medio de material orgánico que pueden ser plantas, desechos de tipo industrial, comercial, agrícola y doméstico y que pueden obtenerse por medios diferentes: por desechos orgánicos (en seco), por fermentación (con humedad) en excrementos de animales donde se produce biogás o en caña o cereales para producir alcohol o ésteres. (Bernal Gutiérrez et al. 2019)

### 2.2 Tipos de biocombustibles.

Los biocombustibles se clasifican dependiendo de la procedencia de donde se obtienen (Maciel, C. Á., 2016), y pueden ser:

**Primera generación:** Son todos aquellos obtenidos de forma agrícola con un porcentaje de alto contenido de almidones, azúcares y aceites como lo son los jugos de cañas de azúcar o granos del maíz, los aceites de las semillas de girasol, soya palma, ricino algodón coco, maní o cacahuate o también de grasas de animales o los que provienen de la cocción en la elaboración de alimentos y desperdicios. Para este tipo de materias se utilizan procesos tecnológicos convencionales como la fermentación (en el caso de azúcares y carbohidratos), la transesterificación (para el caso de los aceites y grasas) y la digestión anaerobia (para desperdicios orgánicos) En este proceso se puede obtener etanol, metanol y n-butanol (para las azúcares), biodiesel (en los aceites) y biogás (a partir de desperdicios orgánicos) Tiene como ventaja su facilidad en el procedimiento y sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

**Segunda generación:** Se utilizan materias de residuos agrícolas y forestales compuestos por celulosa tales como bagazo de caña de azúcar, de maíz paja de trigo, aserrín, hojas y ramas de árbol secos. Su proceso de producción es más complejo haciendo mención de la sacarificación-fermentación o el proceso Fischer-Tropsch (GTL ó BTL) En este proceso se fabrica etanol, metanol y gas de síntesis, biodiesel y otros más. Su principal desventaja es que no hay ahorro en la disminución de la emisión de gases efecto invernadero cuando se procesan los insumos

**Tercera generación:** Utilizan vegetales no aptos para alimento pero que crecen de forma rápida y con una gran densidad de energía dentro de sus componentes. Pueden ser los pastos perennes, árboles o plantas de crecimiento rápido y algas verdes. Su proceso de obtención de biocombustible todavía está en desarrollo, pero se ha logrado producir biodiesel y etanol a nivel planta piloto. Llama mucho la atención que su principal desventaja es la utilización de tierras de cultivo para sembrar este tipo de materia solo con la excepción de las algas verdes.

**Cuarta generación:** Son producidos por bacterias que son modificadas genéticamente y que emplean fuentes de carbono para producción de biocombustibles. En este caso a diferencia de las anteriores la bacteria produce en su totalidad el biocombustible. Esta generación sigue en proceso de fase teórica y depende completamente de la información genética que una batería artificial proporcione teniendo posibles limitaciones.

### **2.3 Biodiesel.**

Es un combustible que se obtiene mediante una variedad de procesos, uno de los más utilizados es el denominado transesterificación, que se realiza a partir de materia prima agrícola y cuya finalidad es aprovecharlo en el uso de motores operados con diésel. Sus ventajas son considerables al medio ambiente ya que no tiene afectaciones al mismo. Su obtención es mediante lípidos nuevos o usados. El prefijo “bio” se refiere principalmente a sus propiedades renovables y biológicas y a comparación del diésel tradicional que es derivado del petróleo. Se puede usar en su forma de obtención pura o bien se puede mezclar con el diésel obtenido del petróleo. (Contreras et al, 2019)

Pardal. A. C. D. V., (2012) hace mención de ventajas y desventajas del uso de biodiesel en comparación con el diésel convencional y los clasifica conforme a la siguiente tabla 1:

**Tabla 1.** Ventajas y desventajas del uso del biodiesel

<b>Medioambientales</b>	
<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Libre de azúfre y aromáticos.	
No es tóxico.	
Renovable y biodegradable. Se degrada cuatro veces más rápido que el diésel.	
Reduce las emisiones de partículas, monóxido de carbono, óxidos de azufre, y los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos.	Las emisiones de nitrógeno son superiores en comparación con el gasóleo.
Se puede fabricar a partir de aceite para freír.	
Contribuye a disminuir las emisiones de CO <sub>2</sub> .	
<b>Técnicas</b>	
<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Alto número de cetano que mejora la combustión.	Su densidad es ligeramente más alta que la del combustible diésel, por esto y combinada con la viscosidad también es ligeramente superior, puede presentar problemas de utilización en climas muy fríos.
Buena lubricidad.	Puede presentar congelación de combustible en invierno, ya que debido al alto punto de congelación (entre 0 y -5 ° C), puede empezar a solidificar y formar cristales, que pueden obstruir los conductos por donde fluye el combustible.
Punto de ignición más alto que el diésel, es decir, que cuenta con mayor seguridad en su manejo y almacenamiento.	Por sus propiedades solventes, puede ablandar y degradar algunos materiales.

Se puede mezclar con el gasóleo en cualquier proporción y la mezcla se mantiene estable. La mezcla de biodiesel con gasóleo aumenta el rendimiento de los motores.	Problemas de almacenamiento por la degradación del combustible en depósito si se deja por tiempo prolongado.
Es un combustible oxigenado lo que facilita la combustión, su combustión es limpia.	
<b>Económicas</b>	
<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Reducir la dependencia del petróleo importado.	Más caro por no haber mucha producción vegetal.
Fortalecimiento de la agroindustria.	Descenso de la economía del combustible.
Induce un desarrollo regional sostenible.	
<b>Sociales</b>	
<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Generación de empleos directos e indirectos en zonas rurales.	
No movilidad sectores de la población.	
No abandono de tierras de cultivo.	

Las principales propiedades del biodiesel se definen con la reducción de emisiones tóxicas en el medio ambiente, su nulo contenido de azufre no produce emanaciones de SO (óxido de azufre) que son los principales generadores de la lluvia ácida. Si existe un derrame de este tipo de combustible en ríos o mares, estos resultarían menos contaminantes y menos letales para la población marina que un combustible tradicional (Gutiérrez Martínez, J. E., & Pérez Rodríguez, C. 2019).

Existen otros métodos para la obtención de biodiesel definiéndose los siguientes (Pardal, A. C. D. V., 2012), por uso directo y mezcla con gasóleo, por micro-emulsiones, por craqueo térmico (Pirolisis) y por transesterificación.

Estos mecanismos (Cortés-Sánchez et al. 2019) se explican como:

Pirolisis o craqueo térmico, cuya característica más importante es la ausencia de oxígeno y a su vez se subdivide en dos procesos, pirolisis rápida y pirolisis lenta, donde la primera está enfocada principalmente en la producción de carbón a temperaturas bajas. La rápida se da para la producción de biocombustibles siguiendo un proceso de tratamientos con catalizadores oxido-reductores que eliminan el oxígeno de los biocombustibles. Este mecanismo es caro para el rendimiento que se produce.

Por micro-emulsiones se refiere a una dispersión coloidal de equilibrio de microestructuras fluidas ópticamente isotrópicas formadas a partir de dos líquidos inmiscibles. Las micro-emulsiones con butanol, hexanol y octanol cumplen un grado de viscosidad para el No. 2 diésel.

Por uso directo y de mezclas de aceites vegetales se les considera poco efectivo tanto a motores diésel directos como con motores indirectos. Tienen problemas de viscosidad, presentan grados de oxidación y polimeración durante su almacenamiento.

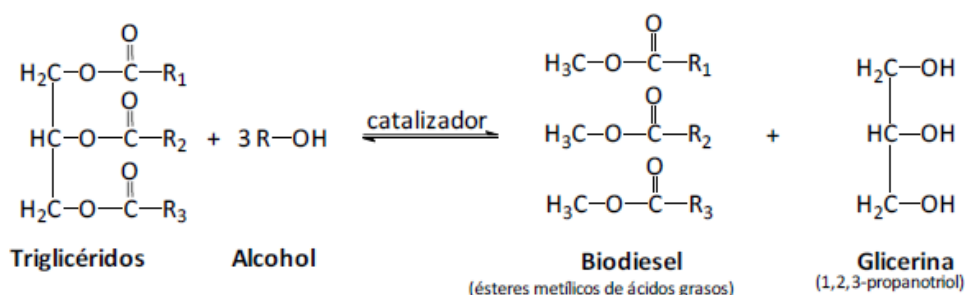
Y por transesterificación que se explica a continuación.

La transesterificación consiste en convertir los triglicéridos y alcoholes de una materia prima en un alquil-éster (conocido como biodiesel) y un glicerol (conocido como glicerina), donde ambos componentes son el resultado del proceso. En la reacción los triglicéridos reaccionan con un alcohol, que generalmente se utiliza metanol (por ser de costo más bajo y por sus propiedades fisicoquímicas) o etanol y para que dicha reacción transcurra a una velocidad adecuada se necesita la presencia indispensable de un catalizador (Gutiérrez Martínez, J. E., & Pérez Rodríguez, C. 2019).

Un catalizador es una sustancia que se agrega a una sustancia para acelerar su reacción siendo una de las más comunes para trabajar en una reacción de transesterificación el hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de potasio (KOH), aunque por costo, el hidróxido de sodio es más usado por ser más barato y además de que su rendimiento es mayor (Erosa, A. D. J. M. 2019).

Se debe mezclar previamente el catalizador con el alcohol, para asegurar que la velocidad de reacción que va a la derecha ( $k_a$ ) sea mucho mayor que la velocidad de reacción que va a la izquierda ( $k_b$ ). El uso de cualquiera de las sustancias y metanol no debe ser tomado a la ligera, son sustancias peligrosas (Erosa, A. D. J. M. 2019).

En la Figura 3 se muestra un mecanismo reacción de un proceso de transesterificación de un aceite o grasa de un animal, donde los triglicéridos reaccionan con un alcohol que generalmente es metanol o etanol y producen ésteres y glicerina y la presencia de un catalizador para que la reacción transcurra a una velocidad adecuada (Pardal, A. C. D. V., 2012).



**Figura 3.** Reacción del proceso de transesterificación de un aceite o grasa de animal.

(Pardal, A. C. D. V., 2012).

#### 2.4 Material prima para obtención de biodiesel.

Hay diversas fuentes y materia prima para la obtención de biodiesel (Pardal, A. C. D. V., 2012), pero en general se buscan insumos que tengan un alto contenido de triglicéridos, los cuales contienen los aceites necesarios para los ésteres alquílicos que se requieren en el proceso, principalmente destacando:

- Aceites vegetales convencionales como girasol, soya, palma, coco.
- Aceites vegetales alternativos como brassica carinata, cynara cardúculus, camelina sahya, crambe abyssinica, jatropha curcas, pogianus y ricino.
- Aceites de semillas modificadas genéticamente como girasol de alto oleico.
- Grasas de animales.
- Aceites de fritura usados.
- Microalgas

Se ha reportado que los aceites vegetales representan entre el 60 y 80% de la producción de biodiesel del costo total de la producción. Para esto se debe considerar el uso de aceites que representen un bajo costo, principalmente aquellos que provengan de aceites de uso o desecho y evitar derramarlos en las descargas de drenaje y complementar la producción con aceites de segunda generación, como puede ser Jatropha, higuera, girasol o café (Gómez Castro et al. 2019),

El biodiesel se puede obtener de más de 300 especies de vegetales y desperdicios orgánicos de segunda generación, considerando que los bioenergéticos reducen 12% de la emisión de gases de efecto invernadero por tan solo producirse y 41% por biodiesel. En el año 2016 la producción de biodiesel fue de 20,000 millones de litros considerando la producción de 2004 con 2,000 millones de litros (Vilaboa-Arroniz et al. 2019).

Hoy en día países de la Unión Europea son los que más producen biodiesel, con una aportación de 85% de la producción mundial (Gómez Castro et al. 2019), aunque Malasia e Indonesia también tienen altos índices de producción. México ha tenido producciones que van de los 9,000 a 18,000 m<sup>3</sup> por año, pero dejaron de funcionar entre 2008 y 2011. Solo se tiene reportado que hay 6 plantas en periodo demostrativo y que van operando con una capacidad de 4,182 m<sup>3</sup> por año.

## **2.5 Elección de la fuente para aceite generador de biodiesel.**

Una de las principales decisiones es definir la materia prima para la obtención de los aceites que van a generar los ésteres alquílicos. Como se enunció anteriormente, las materias primas preferidas son los aceites vegetales, las grasas animales y los aceites provenientes de organismos oleaginosos (León, E., & Eduardo, L. 2019).

El café representa un mercado agrícola internacional, después del petróleo, es la segunda mercancía más comercializada en el mundo y crea importantes vínculos entre países productores y consumidores creando una dinámica internacional muy fuerte a partir de su demanda porque contribuye a unir diversas regiones rezagadas socialmente y conectarlas con otras más desarrolladas creando cadenas de valor y de unión (Robles Luqueño et al. 2019).

El café es una bebida de origen etíope, aunque su verdadero origen es confuso y por su forma de tomarlo se considera árabe. Los árabes descubrieron sus beneficios y vieron amplias posibilidades económicas para su comercialización. Posteriormente el grano viajó a Europa y desde ahí a manos de los conquistadores se introdujo en América, pasando desde la isla de Martinica a Brasil donde se plantaron las primeras semillas hasta 1732 en Colombia a manos de jesuitas. En México se cree que en 1796 llega a la región de Córdoba Veracruz y posteriormente se introducen otro tipo de plantas en Michoacán y Chiapas (Figueroa-Hernández et al. 2019).

El café está compuesto por más de 1000 sustancias diversas, dentro de los que destacan aminoácidos, compuestos nitrogenados, azúcares, triglicéridos, ácido linoleico, diterpenos (cafestol y kahweol), ácidos volátiles (fórmico y acético) y no volátiles (láctico, tartárico, pirúvico, cítrico), compuestos fenólicos (ácido clorogénico), cafeína, sustancias volátiles (alrededor 800 identificadas de las cuales del 60 a 80% contribuyen al aroma) vitaminas y minerales, además de melanoidinas que derivan de las reacciones de pardeamiento no enzimático o de la caramelización de carbohidratos que ocurren durante el tostado. Las variaciones son diversas de acuerdo al grado de tostado o al tipo de especie de café (Navarro Ramírez, E., & Pezo González, M., 2020).

El valor que el café ha adquirido a nivel comercial se ubicó en 2010 en 16,500 millones de dólares y su producción fue de 97 millones de sacos de 60 kg., según estimaciones, la producción del 2010-2011 llegó a 131 millones de sacos (un aproximado de 7.8 millones de toneladas) y el consumo en ese periodo fue de 135 millones de sacos (un aproximado de 8.1 millones de toneladas). Existe alrededor de 70 países productores de café a nivel mundial de los cuales 3 han representado cerca del 55 % del total de la producción mundial en los últimos quince años: Brasil (que representa un 32 a 34%), Vietnam (de 12 a 13%) y Colombia (8 a 9%). En México, su producción de 2014 a 2015 cayó a 3.6 millones de sacos y para 2015 - 2016 fue de 3.9 millones. En el sector cafetalero trabajaban en 2010 alrededor de 23 millones de personas al menos en 52 países productores (Figuroa-Hernández et al. 2019).

De acuerdo a la International Coffee Organization, en su Coffee Market Report February 2020, se proyecta que el consumo de café crece a una cifra de 10,000 millones de kilos de café al año, con un promedio de 1.3 kilogramos de café por persona por año.

Finlandia es el país más consumidor con un promedio de 12 kilogramos por persona por año, seguido de Noruega con 10 kilogramos y Suecia con 8.4 kilogramos por persona por año.

En México, las principales regiones cafetaleras corresponden a cuatro zonas: las vertientes del Golfo de México y del Océano Pacífico, la zona Centro – Norte y la del Soconusco en Chiapas. Son doce estados los principales productores (figura 4), siendo Chiapas el primer lugar en producción con una participación aproximada del 34.8% seguido de Veracruz con 25.2%, Oaxaca y Puebla con 28%, donde estos cuatro estados conforman el 88% del total nacional como lo muestra la figura 2 (Paz et al. 2013).



**Figura 4.** Principales estados productores de café en México.

(1) Chiapas, (2) Veracruz, (3) Oaxaca, (4) Puebla, (5) San Luis Potosí, (6) Guerrero, (7) Nayarit, (8) Hidalgo, (9) Querétaro, (10) Colima, (11) Jalisco y (12) Tabasco (Paz, J. E. W., Guyot, S., Herrera, R. R., Sánchez, G. G., Esquivel, J. C. C., Castañeda, G. S., & Aguilar, C. N. 2013).

El proceso de biodegradación del café cuenta con tiempos muy alargados, demandan cantidades de oxígeno para su degradación y el liberarlos al medio ambiente de forma directa representa un riesgo para flora y fauna. En México pocas o ninguna industria controla los residuos generados por la producción de café. El café utilizado es un residuo de partículas de fino tamaño con alta humedad (de 80 a 85%), carga orgánica y acidez. En promedio, una tonelada de café verde genera aproximadamente 650 kg de café utilizado y de cada 2 kilos de café utilizado húmedo se obtienen por cada kilogramo de café soluble. El café utilizado tiene azúcares como manosa y galactosa y una fracción de proteínas y todas las propiedades se enlistan en la siguiente tabla 3 (Figuroa-Hernández et al. 2015).

**Tabla 2.** Composición química de café utilizado.

Componentes	Base seca (g\100g)
Celulosa (glucanos)	8.6
Hemicelulosa	36.7
Arabinanos	1.7
Galactanos	13.8

Mananos	21.2
Proteínas (Nx 6.25)	13.6
Grupos acetilo	2.2
Cenizas	1.6
Minerales	(mg\Kg)
Potasio	3549
Fósforo	1475.1
Magnesio	1293.3
Calcio	777.4
Aluminio	279.3
Fierro	118.7
Magnesio	40.1
Cobre	32.3
Zinc	15.1
Azufre	n.d.
Cromo	n.d.

El proceso de biodegradación del café cuenta con tiempos muy alargados, demandan cantidades de oxígeno para su degradación y el liberarlos al medio ambiente de forma.

En México, con el aumento de consumo de café, cabe destacar que su venta se da por tres canales de distribución (Figuroa-Hernández et al. 2019):

Retail (menudeo) que representa un 70% de las ventas y cuyo medio de distribución es por tiendas independientes, bodegas de descuento, hipermercados, clubes de precios, supermercados y tiendas de conveniencia.

El canal food service representa el 22% de las ventas, se da en restaurantes, cafeterías y negocios de comida rápida. Este canal va en continuo crecimiento.

Y un canal denominado institucional, el cual aporta un 8% y que va en caída, involucra a empresas como hoteles, oficinas del sector público o empresas que requieran un alto número de personal, centros educativos u hospitales.

Las principales empresas dominantes del mercado de consumo son: Italian Coffee, Starbucks, Café Punta del Cielo, Punta Santa Veracruz y Cielito Querido Café que concentran un 80% del mercado nacional.

## **2.6 Motores: clasificación.**

Por medio de la energía mecánica se ponen en marcha diversas maquinas, dicha energía se obtiene utilizando fuentes térmicas, hidráulicas, solar o eólica. Una de las más comunes es la térmica que se produce mediante la quema de combustibles de naturaleza orgánica o hidrocarburos. Los equipos que transforman la energía térmica en trabajo son los motores de combustión interna. Estos motores transforman la energía térmica del combustible en trabajo a partir de la energía química contenida en un combustible. Un motor de combustión interna introduce aire y combustible. Se enciende por chispa o por compresión. El primero se mezcla el aire y combustible y se hace por medio de inyectores. El segundo se enciende directamente en un cilindro donde se inyecta el combustible después de introducir y comprimir aire (Rafael Morales, Mercedes Yolanda, Hernández Guzmán, Andrés. (2014).

El motor realiza una serie de procedimientos que se repiten de los cuales cinco son los procesos básicos (José, R. D. A. A., & Marta, M. D. (2015):

- Admisión: Se da la entrada de la mezcla aire-combustible o aire dependiendo del motor.
- Compresión: es el proceso para incrementar el rendimiento termodinámico del motor.
- Combustión: es el mecanismo de reacciones térmicas que genera el estado térmico del fluido de trabajo.
- Expansión: es el responsable de la producción del trabajo. La presión ejercida por los gases sobre el pistón se transforma.
- Escape: Se desalojan los gases producidos por la combustión para que pueda procederse a un nuevo proceso de admisión.

La admisión y escape son los procesos de renovación de carga: la compresión, combustión y expansión constituyen el ciclo termodinámico del motor y son procesos donde no hay intercambio de materia con el exterior.

Los motores de combustión interna se clasifican según (José, R. D. A. A., & Marta, M. D. (2015):

Su proceso de combustión.

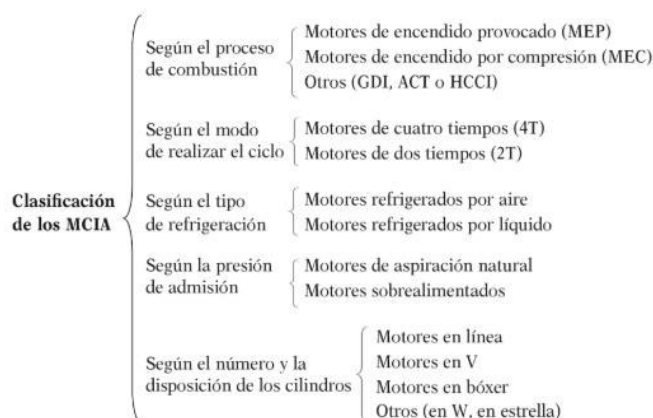
Su modo de realizar el ciclo.

Su tipo de refrigeración.

Su presión de la admisión.

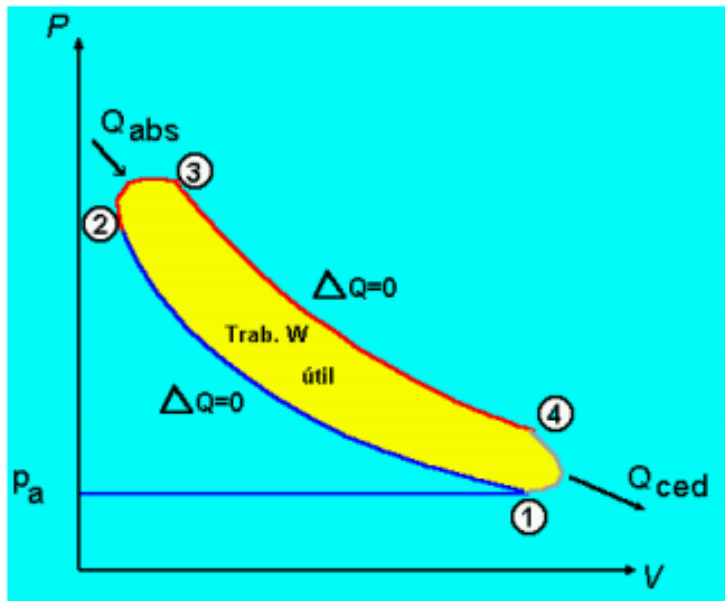
Su número y disposición de cilindros.

Para tal clasificación se enlista la siguiente figura 5.



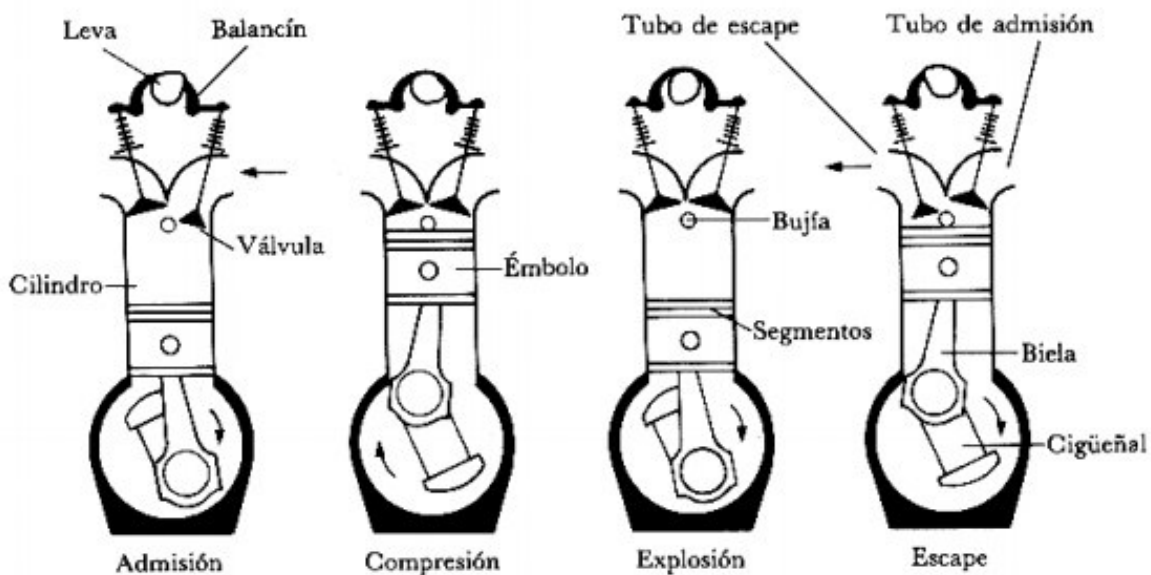
**Figura 5.** Clasificación de los motores de combustión interna alternativa.

Para que se dé un proceso de explosión de combustible es necesario un proceso de admisión por medio de aire y combustible para que el carburante entre al cilindro y también para realizar un ciclo es necesario un proceso de escape para vaciar el cilindro y vuelva a entrar carburante. Con estos procesos se sigue un ciclo (admisión – expansión – escape). Aunque Alphonse Beau de Rochas optimizó el motor de combustión añadiendo un proceso más al ciclo que es el de compresión, esto hace que con el aumento de presión al momento de la explosión sean mucho mayor, ya que antes de exploten los gases reactivos ya están presionados. Por lo tanto, al día de hoy los motores de combustión interna queda con cuatro ciclos: admisión – compresión – expansión – escape como aparece en la figura 6 y la figura 7 mostrando la estructura básica de un motor con el nombre de las piezas básicas (Villegas, A. M., Montseny, I. B., & Celoni, S., 2007).



**Figura 6.** Proceso de admisión ya acabado, con una presión inicial ( $P_a$ ).

De 1 a 2: proceso de compresión donde el supuesto pistón se desplaza para reducir el volumen y aumentar la presión del carburante. De 2 a 3 momento donde ocurre la explosión del gas, el sistema absorbe calor y aumenta la presión y la temperatura del gas. Ese gas a alta presión y temperatura se expande y desplaza el pistón realizando un trabajo útil (3 a 4). De 4 a 1 los gases quemados salen del cilindro dejando a este limpio para volver a empezar el ciclo.



**Figura 7** Estructura básica de un motor de cuatro tiempos con el nombre de sus piezas básicas.

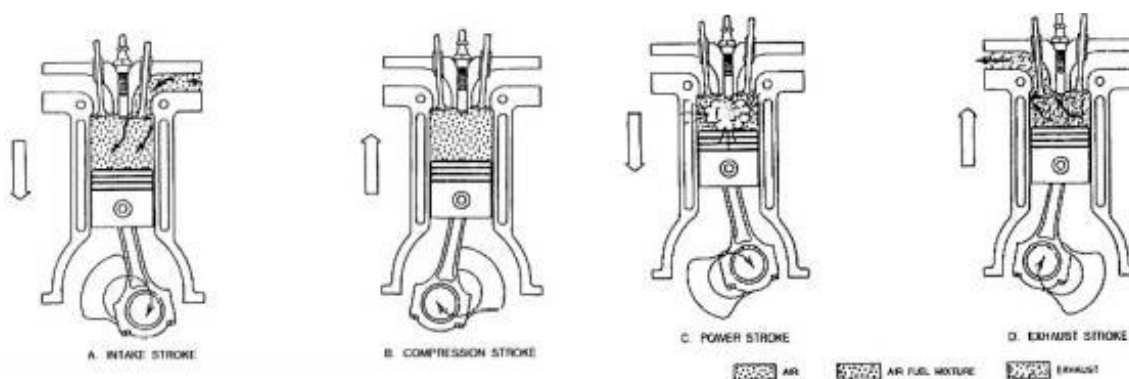
## 2.7 Motores diesel.

Los motores a diésel funcionan por encendido a compresión, en este proceso se calienta el aire aspirado en los cilindros a una temperatura de entre 700 y 900°C lo que hace provocar un encendido automático al inyectar el combustible. Estos motores requieren una mayor

compresión, el aire ingresa al motor por medio de un colector de aire y el combustible es inyectado por una bomba de alta presión, los inyectores se encargan de vaporizar el combustible y así lograr tener una atomización adecuada en la cámara de combustión (ESCOBAR, E. A. (2019).

Su rendimiento depende de los diseñados por los fabricantes, su tamaño, especificaciones de torques, potencia, condiciones de mantenimiento, inflado de llantas, carga del vehículo y otros, pero por otro lado del factor del combustible es importante para el rendimiento que genera un motor diésel. El consumo del combustible se determina por factores mecánicos, características químicas del combustible y emisión de contaminantes (ESCOBAR, E. A. (2019).

En la figura 8 muestra la estructura de un motor diésel de cuatro tiempos y a continuación la tabla 4 con las diferencias de cada uno de sus tiempos.



**Figura 8.** Estructura de un motor de cuatro tiempos Diesel.

**Tabla 3.** Diferencias en los tiempos de ciclos de un motor de combustión interna y uno de diésel.

(Villegas, A. M., Montseny, I. B., & Celoni, S., 2007).

<i>Proceso</i>	<i>Motor cuatro tiempos</i>	<i>Diesel cuatro tiempos</i>
<b>Admisión</b>	El pistón está en el punto más alto (PMS), la válvula de admisión se abre y el propio pistón por el vacío que se crea dentro del cilindro aspira la mezcla (aire y combustible) hasta llegar al punto	El pistón está en el punto más alto (PMS), la válvula de admisión se abre y el pistón aspira aire fresco hasta llegar al punto más bajo del cilindro (PMI).

	más bajo del cilindro (PMI).	
<b>Compresión</b>	El pistón se encuentra en el punto más bajo (PMI), en este momento la válvula de admisión se cierra y el pistón empieza a ascender comprimiendo la mezcla hasta llegar al punto más alto del cilindro (PMS)	El pistón se encuentra en el punto más bajo (PMI), en este momento la válvula de admisión se cierra y el pistón empieza a ascender comprimiendo el aire hasta llegar al punto más alto del cilindro (PMS)
<b>Expansión</b>	Una vez que en la carrera de compresión se ha comprimido la mezcla, la bujía hace saltar una chispa y enciende la mezcla, aumentando la presión en el cilindro y haciendo descender el pistón hacia el punto más bajo (PMI). En esta carrera de expansión es donde se realiza el trabajo útil.	Una vez que en la carrera de compresión se ha comprimido la mezcla, el inyector se encarga de inyectar el combustible dentro del cilindro. La propia presión del aire enciende la mezcla, aumenta la presión en el cilindro y descende el pistón hacia el punto más bajo (PMI). En esta carrera de expansión es donde se realiza el trabajo útil.
<b>Escape</b>	Cuando el pistón llega al punto más bajo (PMI), se abre la válvula de escape y el pistón empieza a ascender empujando los gases quemados hacia el exterior. En el momento que llega al punto más alto (PMS) la válvula de escape se cierra.	Cuando el pistón llega al punto más bajo (PMI), se abre la válvula de escape y el pistón empieza a ascender empujando los gases quemados hacia el exterior. En el momento que llega al punto más alto (PMS) la válvula de escape se cierra.

### CAPITULO 3: Metodología.

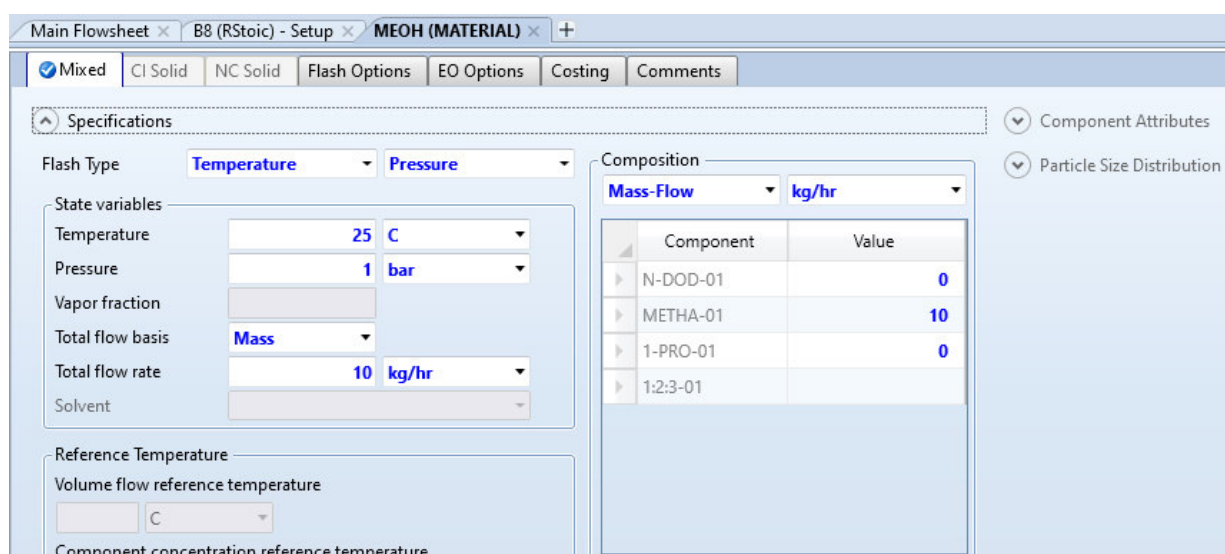
#### 3.1 Procedimiento inicial: Carga de componentes.

A continuación se describe el proceso realizado para la simulación de extracción de biodiesel a base de residuos de café y que se realiza por medio del programa Aspen Plus V10<sup>®</sup> considerando variables en las cantidades de mezcla de cada uno de los componentes y temperaturas diversas para al final obtener resultados que se muestran al final del análisis.

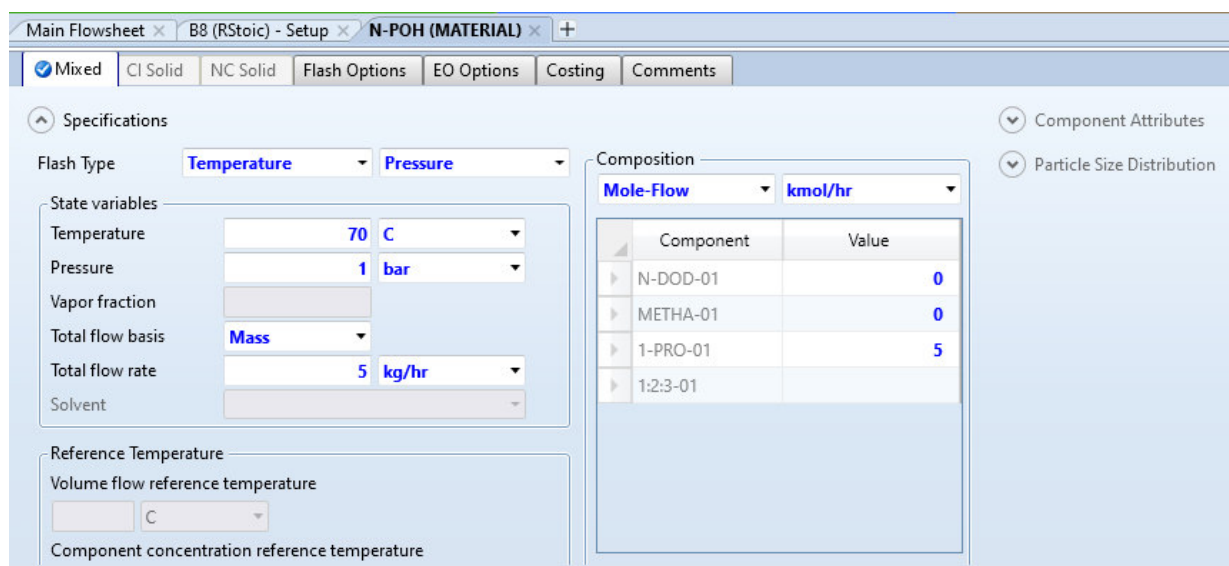
Para iniciar se cargaron los componentes de acuerdo a la tabla no. 5 en la siguiente proporción:

**Tabla 4.** Proporción de componentes para la simulación en Aspen Plus<sup>®</sup>

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	10	Kg/hr
Propanol	5	Kg/hr
Acido Dodecanoico	10	Kg/hr



**Figura 9.** Metanol, parámetros



**Figura 10** Propanol, parámetros

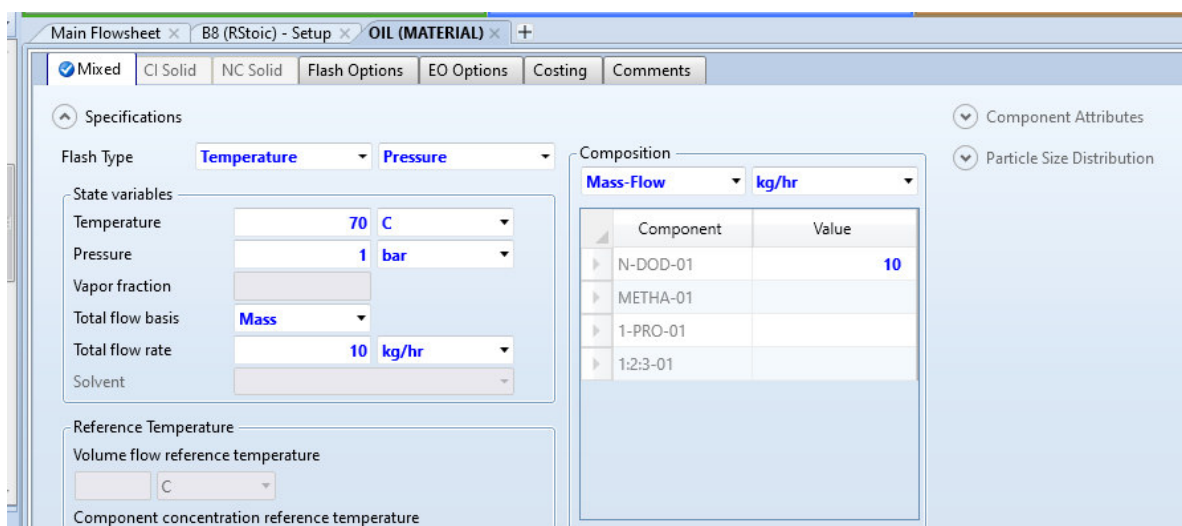


Figura 11. Ácido dodecanoico, parámetros.

### 3.2 Diseño del modelo inicial.

El diagrama de simulación propuesto es el siguiente y que está compuesto por los siguientes elementos:

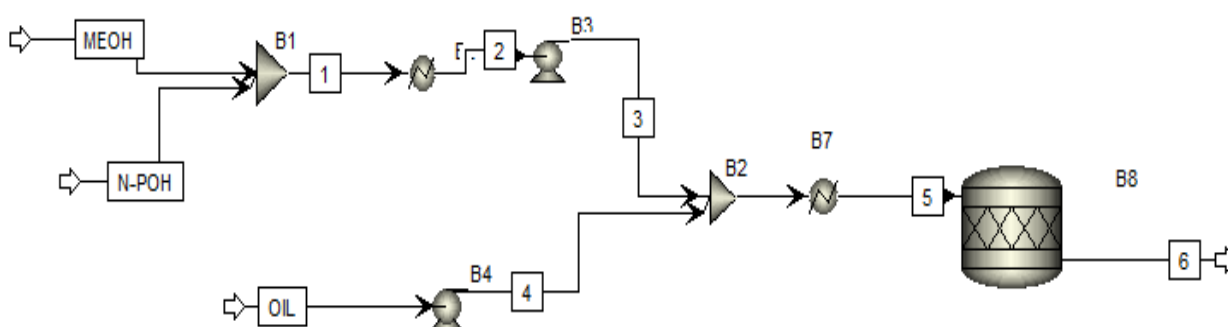


Figura 12. Diagrama de flujo de simulación

#### 3.2.1 Flujos de entrada:

- Se mezcla metanol (MEOH) y propanol (N-POH) en un recipiente (B1).
- En este recipiente (B1) las sustancias (1) se calientan a una temperatura de 80°C y se somete a una presión de 1.5 bar. (B2) arrojando el primer producto de la mezcla (2).
- Una vez que estos compuestos atraviesan esta etapa se someten a una nueva reacción en una bomba (B3) donde se cambia de presión a 0.1 bar para obtener una segunda mezcla de los componentes (3) que se une a línea de flujo (OIL).
- Se ingresa por otra línea de flujo ácido dodecanoico (OIL), el cual proveniente de los granos de borra de café y se somete a una bomba de presión a 1.5 bar. (B4), el resultado

(4) se combina con los componentes de la primera línea de flujo (3) y se mezclan en un nuevo recipiente (B2).

- Ahora ambas líneas de flujo se calientan ahora a una temperatura de 120°C (B7). La línea obtenida (5) se ingresa a un separador (B8) el cual somete la mezcla a 120°C y a una presión de 1.5 bar. y donde se realizan las proporciones esquetiométricas de la mezcla de los componentes que a en el siguiente apartado se analizan y combinan hasta obtener la proporción ideal para la corrida de simulación.
- Como resultado se obtiene biodiesel (6) con las características que se analizan en los siguientes apartados.

### 3.3 Pruebas para el balance esquetiométrico de los componentes.

Una vez ingresados los componentes en sus respectivas cantidades se procede a la revisión esquetiométrica de los elementos químicos de los componentes del proceso (ácido dodecanoico-metanol-propanol) y sometidas a las temperaturas y presiones indicadas anteriormente que permiten iniciar las respectivas corridas de simulación

Éste proceso es necesario realizar para encontrar la relación apropiada de las sustancias y así poder calcular la ecuación química balanceada entre los reactivos originales y el producto generado por la solución química.

En la Figura 14 se capturan las primeras relaciones y se le denomina “Prueba esquetiométrica 1” y así en lo sucesivo para encontrar la relación molecular adecuada:

Specification type	Molar extent	Units	Fractional conversion	Fractional Conversion of Component	Stoichiometry
qc. conversion		kmol/hr	0.9	N-DOD-01	0.75 N-DOD-01 + 0.75 METHA-01 + 0.75 1-PRO-01 --> 2.25 1:2:3-01(MIXED)

**Figura 13.** Sección de captura de balance de ecuación esquetiométrica.

### 3.3.1 Prueba esquetiométrica 1: balances y resultados.

Reaction No.  1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.75
METHA-01	-0.75
1-PRO-01	-0.75

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	2.25

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

Figura 14. Coeficientes prueba esquetiométrica 1.

Capital: \_\_\_USD Utilities: \_\_\_USD/Year  Energy Savings: \_\_\_MW (\_\_\_%)  Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Clear Messages Check Status Run Settings Set Stop Points Convergence Monitor

Sequence Messages

```

CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.
! Errors while processing input specifications

->Processing input specifications ...

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
STREAM NAME: N-POH
COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

** ERROR WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC
REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
THE ABSOLUTE ERROR IS 19.429
CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications

```

Show EO Control

Figura 15. Resultado prueba esquetiométrica 1.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: 19.429 (peso molecular)

### 3.3.2 Prueba esquetiométrica 2: balances y resultados.

Reaction No.  1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.7
METHA-01	-0.7
1-PRO-01	-0.7

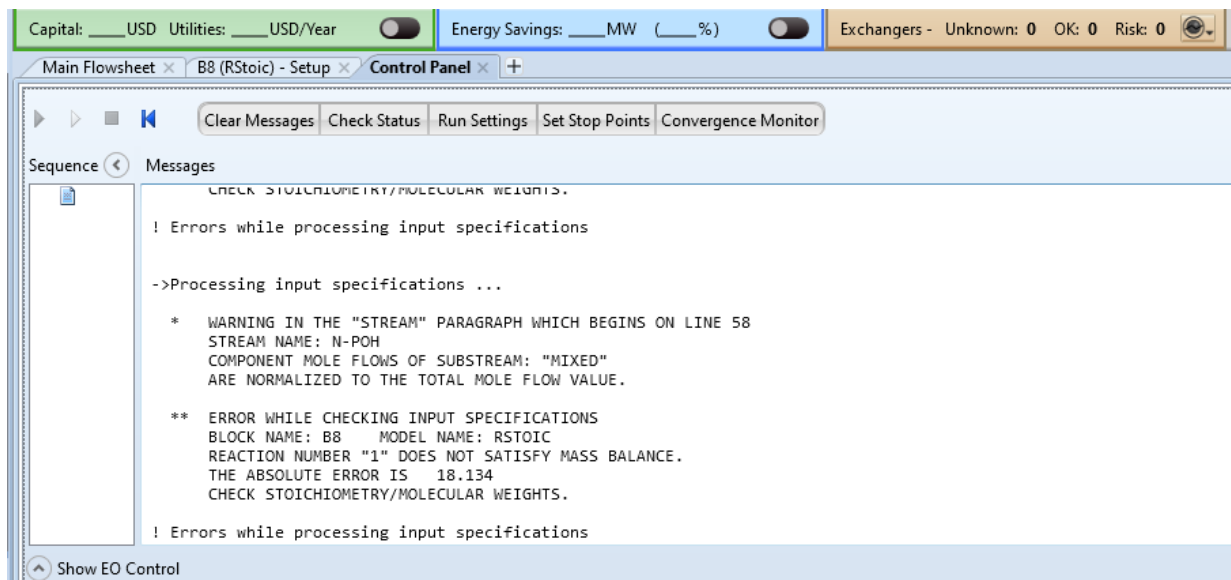
Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	2.1

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

**Figura 16.** Coeficientes prueba esquetiométrica 2



**Figura 17.** Resultado prueba esquetiométrica 2

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: 18.134 (peso molecular)

### 3.3.3 Prueba esquetiométrica 3: balances y resultados.

Reaction No.  1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.6
METHA-01	-0.6
1-PRO-01	-0.6

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	1.8

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

Figura 18. Coeficientes prueba esquetiométrica 3.

Capital: \_\_\_USD Utilities: \_\_\_USD/Year  Energy Savings: \_\_\_MW (\_\_\_%)  Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Sequence Messages

```

CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.
! Errors while processing input specifications

->Processing input specifications ...

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
  STREAM NAME: N-POH
  COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
  ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

** ERROR WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
  BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC
  REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
  THE ABSOLUTE ERROR IS 15.543
  CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications
  
```

Show EO Control

Figura 19. Resultado prueba esquetiométrica 3.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: 15.543 (peso molecular)

### 3.3.4 Prueba esquetiométrica 4: balances y resultados.

Reaction No. 1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.4
METHA-01	-0.4
1-PRO-01	-0.4

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	1.2

Products generation

Molar extent kmol/hr

Fractional conversion 0.9 of component N-DOD-01

Buttons: [Next] [Close]

Figura 20. Coeficientes prueba esquetiométrica 4.

Capital: \_\_\_ USD Utilities: \_\_\_ USD/Year Energy Savings: \_\_\_ MW (\_\_\_%) Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Clear Messages Check Status Run Settings Set Stop Points Convergence Monitor

Sequence Messages

```

CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.
! Errors while processing input specifications

->Processing input specifications ...

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
  STREAM NAME: N-POH
  COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
  ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

** ERROR WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
   BLOCK NAME: B8   MODEL NAME: RSTOIC
   REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
   THE ABSOLUTE ERROR IS 10.362
   CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications
  
```

Show EO Control

Figura 21. Resultado prueba esquetiométrica 4.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: 10.362 (peso molecular)

### 3.3.5 Prueba esquetiométrica 5: balances y resultados.

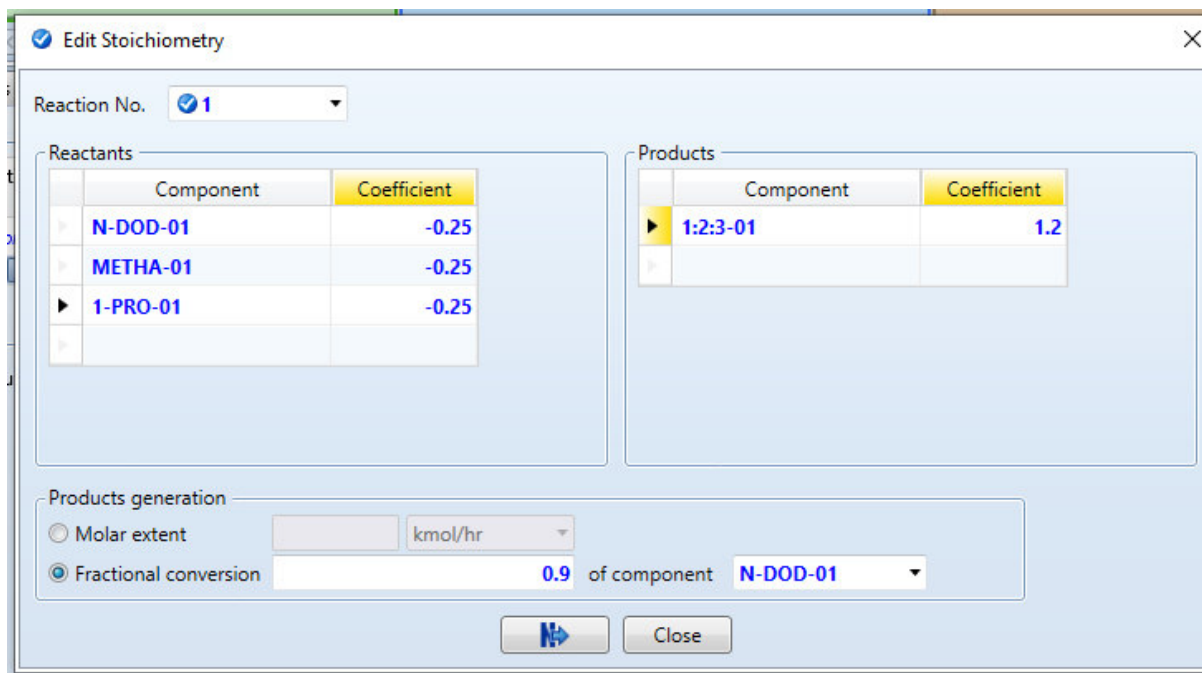


Figura 22. Coeficientes prueba esquetiométrica 5.

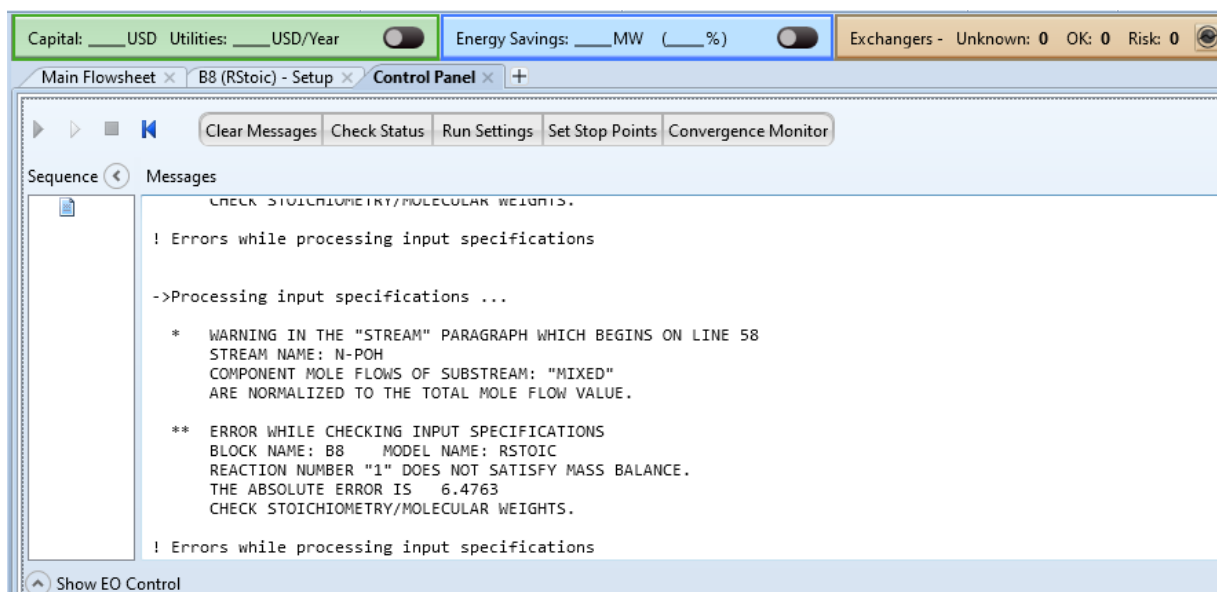


Figura 23. Resultado prueba esquetiométrica 5

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: 6.476 (peso molecular)

### 3.3.6 Prueba esquetiométrica 6: balances y resultados.

Reaction No. 1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.2
METHA-01	-0.2
1-PRO-01	-0.2

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	0.6

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

Buttons: [Next] [Close]

Figura 24. Coeficientes prueba esquetiométrica 6.

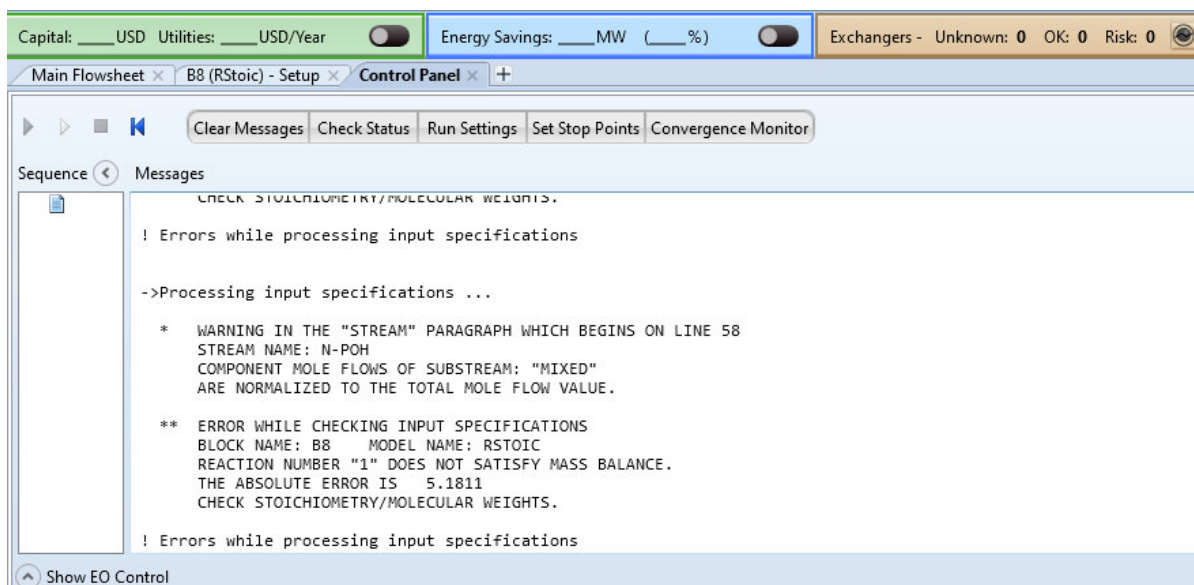


Figura 25. Resultado prueba esquetiométrica 6.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: 5.1811 (peso molecular)

### 3.3.7 Prueba esquetiométrica 7: balances y resultados.

✓ Edit Stoichiometry ✕

Reaction No. 1

Reactants

	Component	Coefficient
▶	N-DOD-01	-0.1
▶	METHA-01	-0.1
▶	1-PRO-01	-0.1
▶		

Products

	Component	Coefficient
▶	1:2:3-01	0.3
▶		

Products generation

Molar extent kmol/hr

Fractional conversion 0.9 of component N-DOD-01

▶
Close

**Figura 26.** Coeficientes prueba esquetiométrica 7.

Capital: \_\_\_USD Utilities: \_\_\_USD/Year Energy Savings: \_\_\_MW (\_\_\_%) Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Clear Messages Check Status Run Settings Set Stop Points Convergence Monitor

Sequence Messages

```

CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications

->Processing input specifications ...

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
  STREAM NAME: N-POH
  COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
  ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

** ERROR WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
  BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC
  REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
  THE ABSOLUTE ERROR IS 2.5905
  CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications
  
```

Show EO Control

**Figura 27.** Resultado prueba esquetiométrica 7.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: 2.5905 (peso molecular)

### 3.3.8 Prueba esquetiométrica 8: balances y resultados.

Reaction No.  1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.05
METHA-01	-0.05
1-PRO-01	-0.05

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	0.15

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

**Figura 28.** Coeficientes prueba esquetiométrica 8.

Capital: \_\_\_USD Utilities: \_\_\_USD/Year  Energy Savings: \_\_\_MW (\_\_\_%)  Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Clear Messages Check Status Run Settings Set Stop Points Convergence Monitor

Sequence Messages

```

CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.
! Errors while processing input specifications

->Processing input specifications ...

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
  STREAM NAME: N-POH
  COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
  ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

** ERROR WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
  BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC
  REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
  THE ABSOLUTE ERROR IS 1.2953
  CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications
  
```

Show EO Control

**Figura 29.** Resultado prueba esquetiométrica 8.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: 1.2953 (peso molecular)

### 3.3.9 Prueba esquetiométrica 9: balances y resultados.

Reaction No.

**Reactants**

Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.02
METHA-01	-0.02
1-PRO-01	-0.02

**Products**

Component	Coefficient
1:2:3-01	0.06

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

**Figura 30.** Coeficientes prueba esquetiométrica 9.

Capital: \_\_\_USD Utilities: \_\_\_USD/Year  Energy Savings: \_\_\_MW (\_\_\_%)  Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Sequence Messages

\* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58  
STREAM NAME: N-POH  
COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"  
ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

\* WARNING WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS  
BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC  
REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.  
THE ABSOLUTE ERROR IS 0.51811  
CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

Flowsheet Analysis :

COMPUTATION ORDER FOR THE FLOWSHEET:  
B4 B1 B6 B3 B2 B7 B8

->Calculations begin ...

Show EO Control

**Figura 31.** Resultado prueba esquetiométrica 9.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: 0.05181 (peso molecular)

### 3.3.10 Prueba esquetiométrica 10: balances y resultados.

Reaction No. 1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.5
METHA-01	-0.5
1-PRO-01	-0.5

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	1

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

Buttons: [Next] [Close]

Figura 32. Coeficientes prueba esquetiométrica 10.

Capital: \_\_\_ USD Utilities: \_\_\_ USD/Year Energy Savings: \_\_\_ MW (\_\_\_ %) Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Clear Messages Check Status Run Settings Set Stop Points Convergence Monitor

Sequence Messages

Block: B4 Model: PUMP  
Block: B1 Model: MIXER  
Block: B6 Model: HEATER  
Block: B3 Model: PUMP  
\*\* ERROR  
FEED HAS 18.62 % VAPOR. OUTLET CONDITIONS MAY BE WRONG.  
Block: B2 Model: MIXER  
Block: B7 Model: HEATER  
Block: B8 Model: RSTOIC  
\*\* ERROR  
BLOCK B8 IS NOT IN MASS BALANCE:  
MASS INLET FLOW = 0.6944444E-02, MASS OUTLET FLOW = 0.72677420E-02  
RELATIVE DIFFERENCE = 0.46554844E-01  
CHECK STOICHIOMETRY OR MOLECULAR WEIGHTS  
->Generating block results ...  
Block: B3 Model: PUMP  
\*\* ERROR WHILE GENERATING RESULTS FOR UNIT OPERATIONS BLOCK: "B3" (MODEL: "PUMP")  
FEED HAS 18.62 % VAPOR. OUTLET CONDITIONS MAY BE WRONG.  
INFORMATION WHILE GENERATING RESULTS FOR UNIT OPERATIONS BLOCK: "B3" (MODEL: "PUMP")  
NET POSITIVE SUCTION HEAD IS LESS THAN ZERO  
Block: B4 Model: PUMP  
Block: B6 Model: HEATER  
Block: B7 Model: HEATER  
->Simulation calculations completed ...  
\*\*\* Warning(s) were issued during Input Translation \*\*\*  
\*\*\* Check the Run Status Results for more Information \*\*\*  
\*\*\* Summary of Simulation Errors \*\*\*  
Physical Property System Simulation  
Terminal Errors

Show EO Control

Figura 33. Resultado prueba esquetiométrica 10.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: 0.6944E-02 (peso molecular). La alimentación tuvo 18.62% de vapor. Las condiciones de salida pueden ser incorrectas.

### 3.3.11 Prueba esquetiométrica 11: balances y resultados.

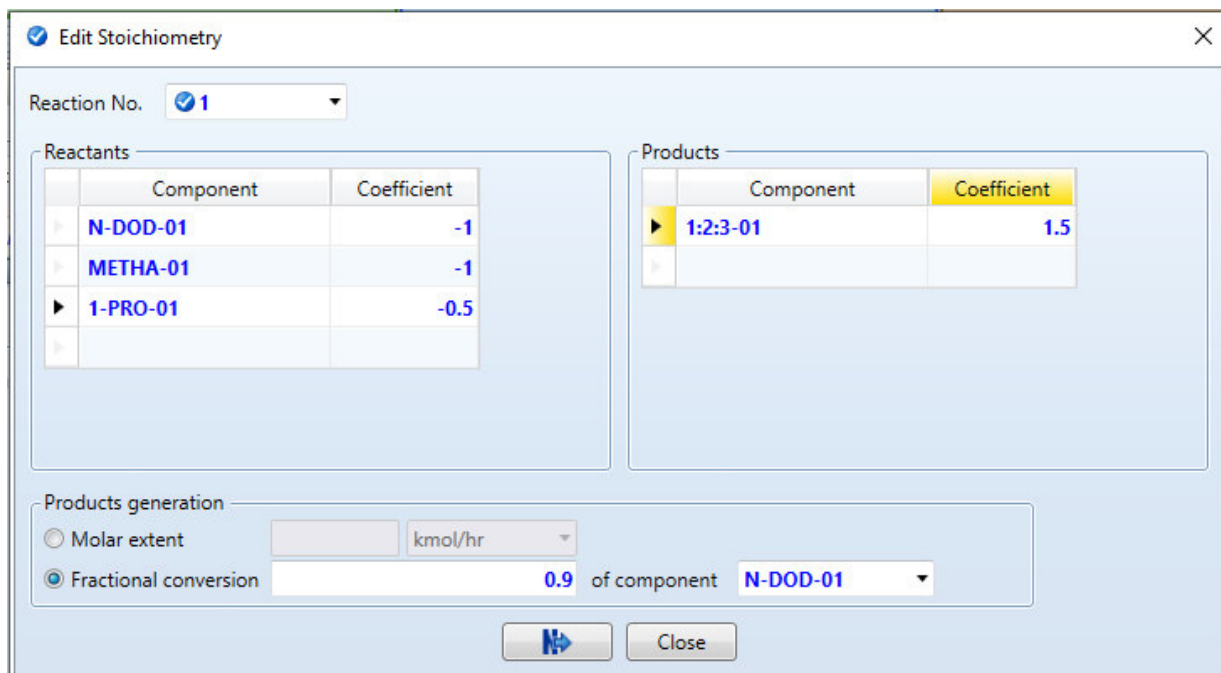


Figura 34. Coeficientes prueba esquetiométrica 11.

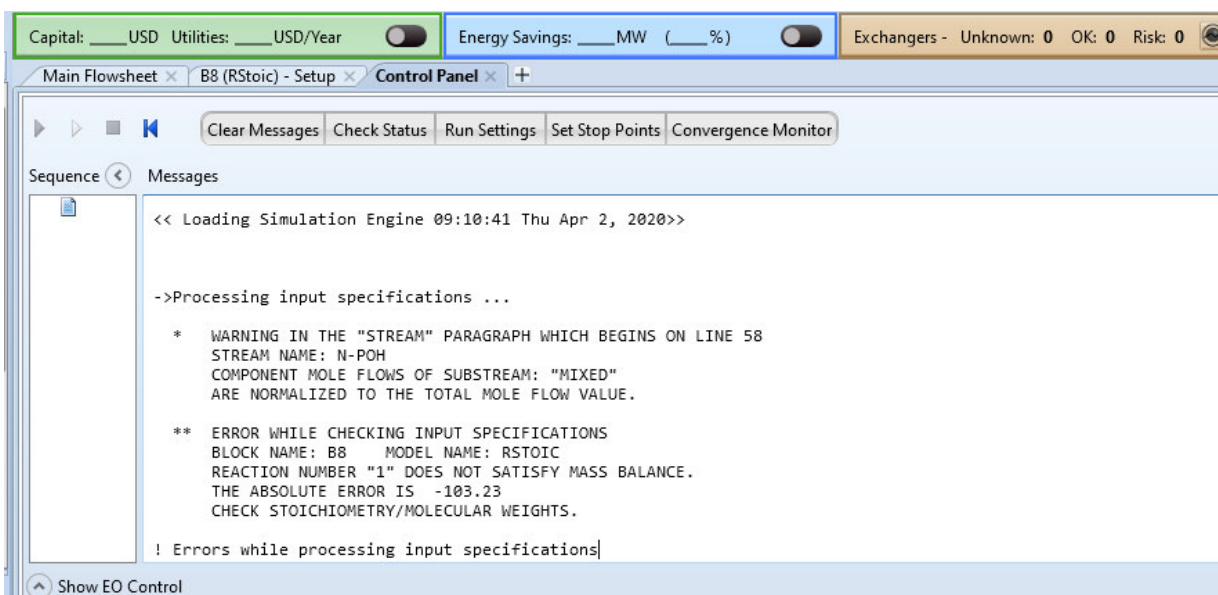


Figura 35. Resultado prueba esquetiométrica 11.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: -103.23 (peso molecular)

### 3.3.12 Prueba esquetiométrica 12: balances y resultados.

Reaction No.  1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.75
METHA-01	-0.75
1-PRO-01	-0.5

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	1

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

Figura 36. Coeficientes prueba esquetiométrica 12.

Capital: \_\_\_USD Utilities: \_\_\_USD/Year  Energy Savings: \_\_\_MW (\_\_\_%)  Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Sequence Messages

```

CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.
! Errors while processing input specifications

->Processing input specifications ...

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
  STREAM NAME: N-POH
  COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
  ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

** ERROR WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
  BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC
  REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
  THE ABSOLUTE ERROR IS -98.199
  CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications
  
```

Show EO Control

Figura 37. Resultado prueba esquetiométrica 12.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: -98.199 (peso molecular)

### 3.3.13 Prueba esquetiométrica 13: balances y resultados.

Reaction No. 1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.5
METHA-01	-0.75
1-PRO-01	-0.75

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	0.75

Products generation

Molar extent kmol/hr

Fractional conversion 0.9 of component N-DOD-01

Buttons: [Next] [Close]

Figura 38. Coeficientes prueba esquetiométrica 13.

Capital: \_\_\_USD Utilities: \_\_\_USD/Year Energy Savings: \_\_\_MW (\_\_\_%) Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Clear Messages Check Status Run Settings Set Stop Points Convergence Monitor

Sequence Messages

```
<< Run reinitialized 10:09:07 Thu Apr 2, 2020>>

->Processing input specifications ...

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
  STREAM NAME: N-POH
  COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
  ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

** ERROR WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
  BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC
  REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
  THE ABSOLUTE ERROR IS -89.673
  CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications
```

Show EO Control

Figura 39. Resultado prueba esquetiométrica 13.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: -89.673 (peso molecular)

### 3.3.14 Prueba esquetiométrica 14: balances y resultados.

Reaction No. 1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.5
METHA-01	-0.5
1-PRO-01	-0.6

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	1

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

Buttons: [Next] [Close]

Figura 40. Coeficientes prueba esquetiométrica 14.

Capital: \_\_\_ USD Utilities: \_\_\_ USD/Year Energy Savings: \_\_\_ MW (\_\_\_%) Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Clear Messages Check Status Run Settings Set Stop Points Convergence Monitor

Sequence Messages

```
<< Run reinitialized 10:10:09 Thu Apr 2, 2020>>

->Processing input specifications ...

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
  STREAM NAME: N-POH
  COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
  ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

** ERROR WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
  BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC
  REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
  THE ABSOLUTE ERROR IS -49.322
  CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications
```

Show EO Control

Figura 41. Resultado prueba esquetiométrica 14.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: -49.322 (peso molecular)

### 3.3.15 Prueba esquetiométrica 15: balances y resultados.

Reaction No.

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.5
METHA-01	-0.6
1-PRO-01	-0.8

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	1.2

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

**Figura 42.** Coeficientes prueba esquetiométrica 15.

Capital: \_\_\_USD Utilities: \_\_\_USD/Year  Energy Savings: \_\_\_MW (\_\_\_%)  Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Sequence Messages

```
<< Run reinitialized 10:23:26 Thu Apr 2, 2020>>

->Processing input specifications ...

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
  STREAM NAME: N-POH
  COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
  ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

** ERROR WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
  BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC
  REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
  THE ABSOLUTE ERROR IS -40.117
  CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications
```

Show EO Control

**Figura 43.** Resultado prueba esquetiométrica 15.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: -40.117 (peso molecular)

### 3.3.16 Prueba esquetiométrica 16: balances y resultados.

Reaction No.  1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.5
METHA-01	-0.75
1-PRO-01	-1

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	1.4

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

Figura 44. Coeficientes prueba esquetiométrica 16.

Capital: \_\_\_USD Utilities: \_\_\_USD/Year  Energy Savings: \_\_\_MW (\_\_\_%)  Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Clear Messages Check Status Run Settings Set Stop Points Convergence Monitor

Sequence Messages

```
<< Run reinitialized 10:24:42 Thu Apr 2, 2020>>

->Processing input specifications ...

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
  STREAM NAME: N-POH
  COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
  ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

** ERROR WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
  BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC
  REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
  THE ABSOLUTE ERROR IS -35.718
  CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications
```

Show EO Control

Figura 45. Resultado prueba esquetiométrica 16.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: -35.718 (peso molecular)

### 3.3.17 Prueba esquetiométrica 17: balances y resultados.

Reaction No.  1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.5
METHA-01	-0.85
1-PRO-01	-1.2

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	1.6

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

Figura 46. Coeficientes prueba esquetiométrica 17.

```

<< Run reinitialized 10:25:55 Thu Apr 2, 2020>>

->Processing input specifications ...

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
  STREAM NAME: N-POH
  COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
  ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

** ERROR WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
  BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC
  REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
  THE ABSOLUTE ERROR IS -26.712
  CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications
  
```

Figura 47. Resultado prueba esquetiométrica 17.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: -26.712 (peso molecular)

### 3.3.18 Prueba esquetiométrica 18: balances y resultados.

Reaction No.

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.5
METHA-01	-0.9
1-PRO-01	-1.5

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	2

Products generation

Molar extent  kmol/hr

Fractional conversion  of component

Figura 48. Coeficientes prueba esquetiométrica 18.

Capital: \_\_\_USD Utilities: \_\_\_USD/Year  Energy Savings: \_\_\_MW (\_\_\_%)  Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Clear Messages Check Status Run Settings Set Stop Points Convergence Monitor

Sequence Messages

```
<< Run reinitialized 10:28:33 Thu Apr 2, 2020>>

->Processing input specifications ...

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
  STREAM NAME: N-POH
  COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
  ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

** ERROR WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
  BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC
  REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
  THE ABSOLUTE ERROR IS -6.8993
  CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

! Errors while processing input specifications
```

Show EO Control

Figura 49. Resultado prueba esquetiométrica 18.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: -6.8993 (peso molecular)

### 3.3.19 Prueba esquetiométrica 19: balances y resultados.

Reaction No.

**Reactants**

Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.5
METHA-01	-0.9
1-PRO-01	-1.3

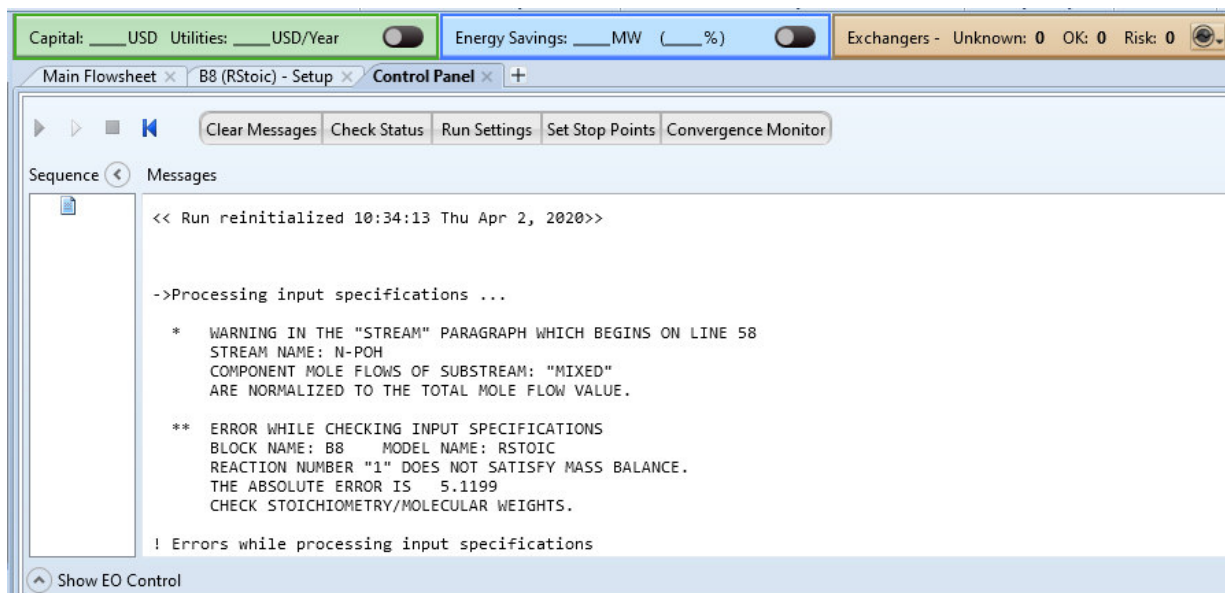
**Products**

Component	Coefficient
1:2:3-01	2

**Products generation**

Molar extent  kmol/hr  
 Fractional conversion  of component

**Figura 50.** Coeficientes prueba esquetiométrica 19.



**Figura 51.** Resultado prueba esquetiométrica 19.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: 5.1199 (peso molecular)

### 3.3.20 Prueba esquetiométrica 20: balances y resultados.

Reaction No. 1

Reactants	
Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.5
METHA-01	-0.9
1-PRO-01	-1.4

Products	
Component	Coefficient
1:2:3-01	2

Products generation

Molar extent kmol/hr

Fractional conversion 0.9 of component N-DOD-01

Buttons: [Next] [Close]

Figura 52. Coeficientes prueba esquetiométrica 20.

Capital: \_\_\_USD Utilities: \_\_\_USD/Year Energy Savings: \_\_\_MW (\_\_\_%) Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet x B8 (RStoic) - Setup x Control Panel x +

Clear Messages Check Status Run Settings Set Stop Points Convergence Monitor

Sequence Messages

```

* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
STREAM NAME: N-POH
COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.

* WARNING WHILE CHECKING INPUT SPECIFICATIONS
BLOCK NAME: B8 MODEL NAME: RSTOIC
REACTION NUMBER "1" DOES NOT SATISFY MASS BALANCE.
THE ABSOLUTE ERROR IS -0.88971
CHECK STOICHIOMETRY/MOLECULAR WEIGHTS.

Flowsheet Analysis :

COMPUTATION ORDER FOR THE FLOWSHEET:
B4 B1 B6 B3 B2 B7 B8

->Calculations begin ...

```

Show EO Control

Figura 53. Resultado prueba esquetiométrica 20.

Resultado: "Error." No se satisface el balance de la masa. Error absoluto: -0.88971 (peso molecular)

### 3.3.21 Prueba esquetiométrica: balances y resultados.

✓ Edit Stoichiometry ✕

Reaction No. 1

Reactants

Component	Coefficient
N-DOD-01	-0.3
METHA-01	-0.6
1-PRO-01	-0.875

Products

Component	Coefficient
1:2:3-01	1.243

Products generation

Molar extent kmol/hr  
 Fractional conversion 0.9 of component N-DOD-01

▶
Close

Figura 54. Coeficientes prueba esquetiométrica 21.

Capital: USD Utilities: USD/Year Energy Savings: MW (%) Exchangers - Unknown: 0 OK: 0 Risk: 0

Main Flowsheet < B8 (RStoic) - Setup < Control Panel < +

Clear Messages Check Status Run Settings Set Stop Points Convergence Monitor

Sequence Messages

```

<< All Blocks Reinitialized >>
<< Run reinitialized 11:15:27 Thu Apr 2, 2020>>
->Processing input specifications ...
* WARNING IN THE "STREAM" PARAGRAPH WHICH BEGINS ON LINE 58
  STREAM NAME: N-POH
  COMPONENT MOLE FLOWS OF SUBSTREAM: "MIXED"
  ARE NORMALIZED TO THE TOTAL MOLE FLOW VALUE.
Flowsheet Analysis :
COMPUTATION ORDER FOR THE FLOWSHEET:
B4 B1 B6 B3 B2 B7 B8
--Calculations began ...
Block: B4 Model: PUMP
Block: B1 Model: MIXER
Block: B6 Model: HEATER
Block: B3 Model: PUMP
** ERROR
FEED HAS 18.62 % VAPOR. OUTLET CONDITIONS MAY BE WRONG.
Block: B2 Model: MIXER
Block: B7 Model: HEATER
Block: B8 Model: RSTOIC
* WARNING
COMPONENT "1-PRO-01" HAS ZERO FLOWRATE IN THE OUTLET STREAM.
FRACTIONAL CONVERSION HAS BEEN MODIFIED BY
A FACTOR OF "0.6349258"
->Generating block results ...
Block: B3 Model: PUMP
** ERROR WHILE GENERATING RESULTS FOR UNIT OPERATIONS BLOCK: "B3" (MODEL:
"PUMP")
FEED HAS 18.62 % VAPOR. OUTLET CONDITIONS MAY BE WRONG.
INFORMATION WHILE GENERATING RESULTS FOR UNIT OPERATIONS BLOCK: "B3"
(MODEL: "PUMP")
NET POSITIVE SUCTION HEAD IS LESS THAN ZERO
Block: B4 Model: PUMP
Block: B6 Model: HEATER
Block: B7 Model: HEATER
->Simulation calculations completed ...
*** Warning(s) were issued during Input Translation ***
*** Check the Run Status Results for more Information ***
*** Summary of Simulation Errors ***
Terminal Errors      Physical Property System Simulation
0                   0                0                0
Severe Errors       0                0                0
Errors              0                0                2
Warnings           0                0                1
  
```

Block: B7 Model: HEATER  
->Simulation calculations completed ...

\*\*\* Warning(s) were issued during Input Translation \*\*\*  
\*\*\* Check the Run Status Results for more Information \*\*\*

\*\*\* Summary of Simulation Errors \*\*\*

Terminal Errors	Physical Property	System	Simulation
0	0	0	0
Severe Errors	0	0	0
Errors	0	0	2
Warnings	0	0	1

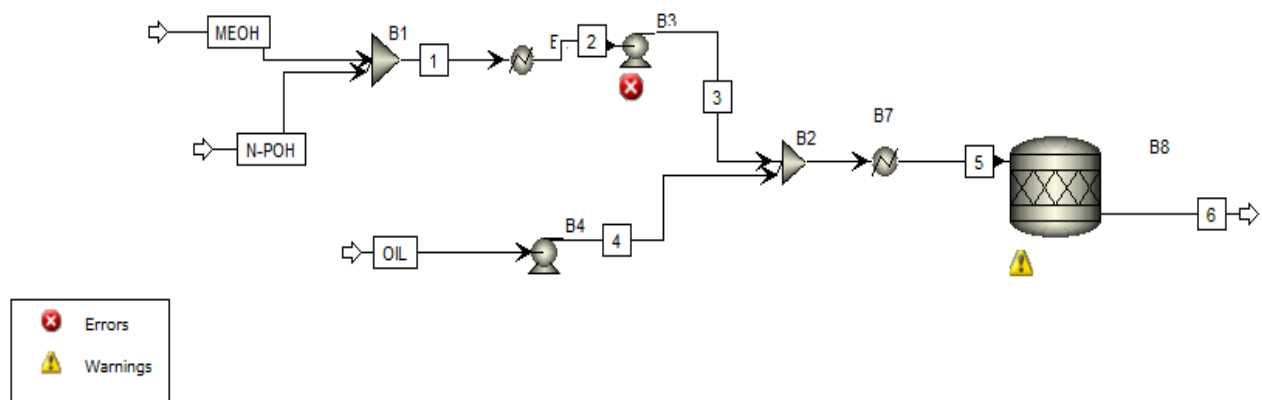
Show EO Control

Figura 55. Resultado prueba esquetiométrica 21.

Resultado: El proceso de simulación arrojó los primeros resultados en donde se presenta un error en la bomba de cambio de presión.

### 3.4 Modificación al diseño del modelo inicial: Modelo 2.

A pesar de que el proceso de simulación arrojo resultados se realiza una modificación al modelo inicial y se corre nuevamente la simulación. El error del modelo anterior radica en la bomba B3.



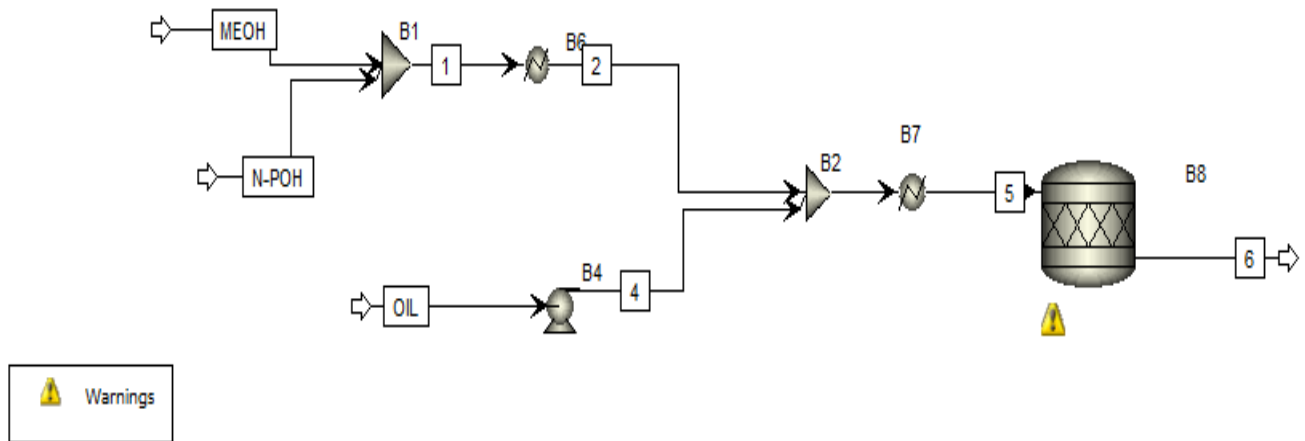
**Figura 56.** Diagrama del flujo resultado prueba 21

#### 3.4.1 Modelo 2: Componentes.

- Se mezcla metanol (MEOH) y propanol (N-POH) en un recipiente (B1).
- En este recipiente (B1) las sustancias (1) se calientan a una temperatura de 80°C y se somete a una presión de 1.5 bar. (B6) arrojando el primer producto de la mezcla (2) y la cual se une a línea de flujo (OIL).
- Se ingresa por otra línea de flujo ácido dodecanoico (OIL), el cual proveniente de los granos de borra de café y se somete a una bomba de presión a 1.5 bar. (B4), el resultado (4) se combina con los componentes de la primera línea de flujo (2) y se mezclan en un nuevo recipiente (B2).
- Ahora ambas líneas de flujo se calientan ahora a una temperatura de 120°C (B7). La línea obtenida (5) se ingresa a un separador (B8) el cual somete la mezcla a 120°C y a una presión de 1.5 bar. y donde se realizan las proporciones estequiométricas de la mezcla de los componentes que a en el siguiente apartado se analizan y combinan hasta obtener la proporción ideal para la corrida de simulación.
- Como resultado se obtiene biodiesel (6) con las características que se analizan en los siguientes apartados.

- Se omite el proceso de cambio de presión por medio de la bomba y la línea pasa directamente al mezclador (B2) donde se combina con el ácido dodecanoico para ser sometido al calentador (B7).

El resultado se representa en la Figura 57, se elimina el error y se vuelve a correr nuevamente la simulación con los primeros resultados:



**Figura 57.** Diagrama del flujo primera simulación con la relación estequiométrica adecuada.

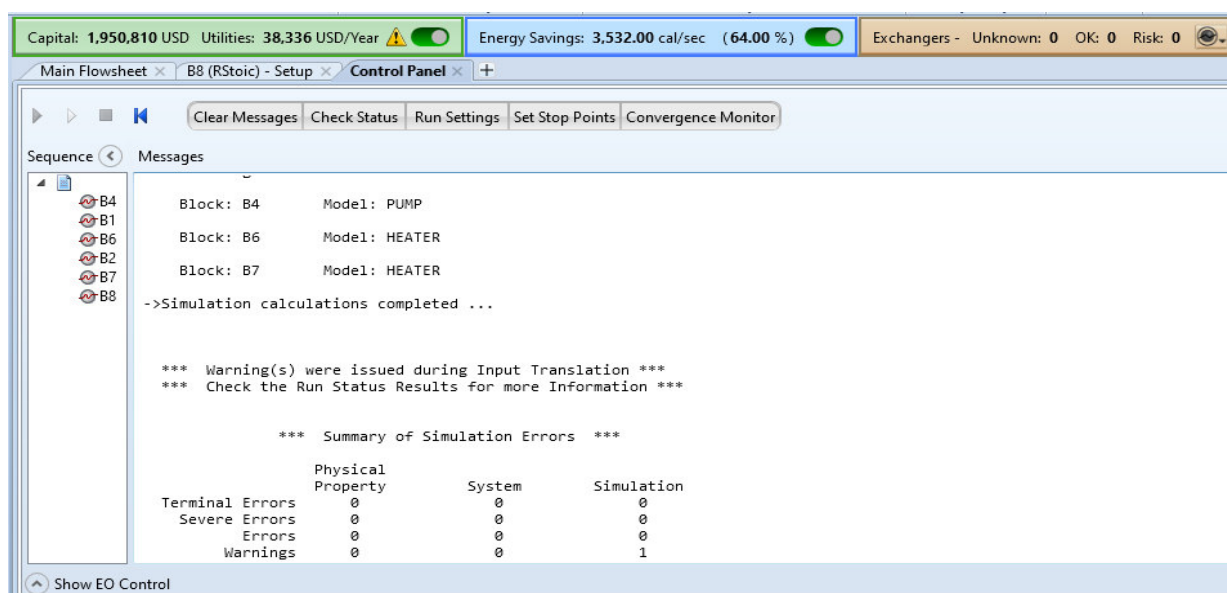
## CAPITULO 4: Resultados y análisis.

### 4.1 Simulaciones con proporciones variables de los componentes. Temperatura inicial.

#### 4.1.1 Proporción inicial de los componentes.

**Tabla 5.** Proporción de componentes para la simulación en Aspen Plus®

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	10	Kg/hr
Propanol	5	Kg/hr
Acido Dodecanoico	10	Kg/hr



**Figura 58.** Resultado simulación proporción 1

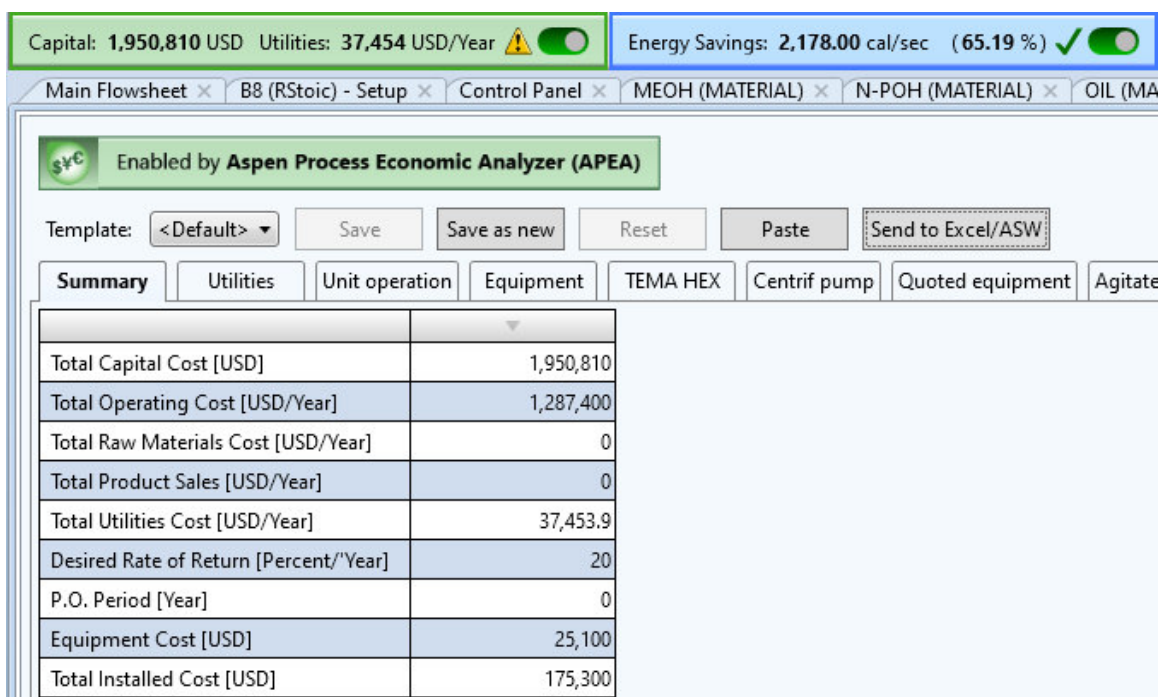
Arroja los primeros resultados en las diversas fracciones de volumen, temperaturas, presiones, resultados económicos, de inversión, utilidad, gasto de energía y porcentaje de eficiencia del proceso.

Tabla 6. Resultados de los componentes. Proporción (Tabla 5)

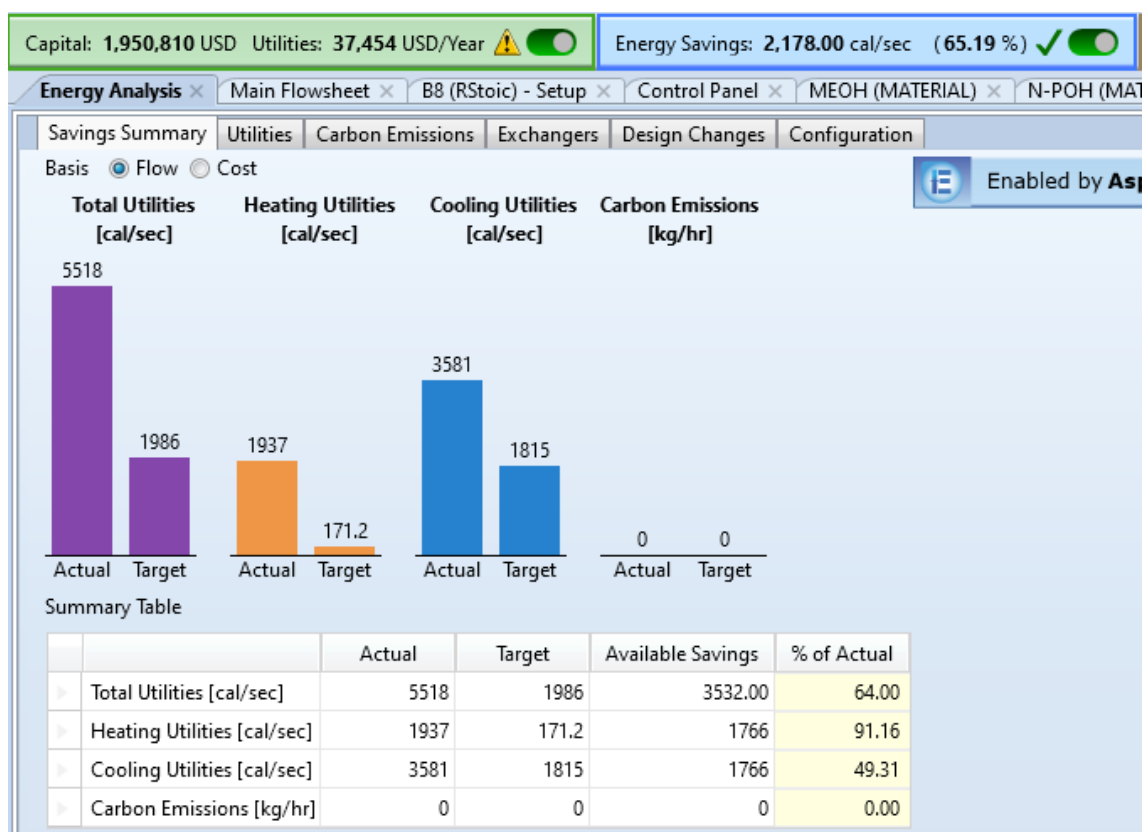
Temperatura mezcla Metanol-Propanol 80°C; Mezcla con ácido dodecanoico: 120°C

		Material								
Stream Name	Units	1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MXED Substream										
Phase		Liquid Phase			Liquid Phase		Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	
Temperature	C	39.945	80.000	70.086	120.000	120.000	25.000	70.000	70.000	83.722
Pressure	bar	1.000	1.500	1.500	1.500	1.500	1.000	1.000	1.000	1.500
Molar Vapor Fraction		0.000	0.186	0.000	0.836	0.538	0.000	0.000	0.000	0.133
Molar Liquid Fraction		1.000	0.814	1.000	0.164	0.462	1.000	1.000	1.000	0.867
Molar Solid Fraction		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mass Vapor Fraction		0.000	0.169	0.000	0.560	0.272	0.000	0.000	0.000	0.081
Mass Liquid Fraction		1.000	0.831	1.000	0.440	0.728	1.000	1.000	1.000	0.919
Mass Solid Fraction		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Molar Enthalpy	cal/mol	-59771.000	-57030.600	-171642.000	-62870.800	-90751.300	-56940.800	-70387.300	-171651.000	-69881.600
Mass Enthalpy	cal/gm	-1575.120	-1502.900	-856.833	-1119.630	-1432.480	-1777.060	-1171.250	-856.880	-1244.480
Molar Entropy	cal/mol-K	-65.596	-57.770	-309.524	-66.225	-87.452	-57.382	-101.327	-309.552	-85.344
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.729	-1.522	-1.545	-1.179	-1.380	-1.791	-1.686	-1.545	-1.520
Molar Density	mol/cc	0.021	0.000	0.004	0.000	0.000	0.025	0.013	0.004	0.000
Mass Density	gm/cc	0.787	0.010	0.855	0.003	0.005	0.793	0.752	0.856	0.021
Enthalpy Flow	cal/sec	-6563.010	-6262.100	-2380.090	-7775.180	-9947.930	-4936.280	-1626.730	-2380.220	-8642.190
Average MW		37.947	37.947	200.321	56.153	63.352	32.042	60.096	200.321	56.153
Mole Flows	kmol/hr	0.395	0.395	0.050	0.445	0.395	0.312	0.083	0.050	0.445
N-DOD-01	kmol/hr	0.000	0.000	0.050	0.050	0.021	0.000	0.000	0.050	0.050
METHA-01	kmol/hr	0.312	0.312	0.000	0.312	0.255	0.312	0.000	0.000	0.312
1-PRO-01	kmol/hr	0.083	0.083	0.000	0.083	0.000	0.000	0.083	0.000	0.083
1:2:3-01	kmol/hr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.118	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.000	0.000	1.000	0.112	0.054	0.000	0.000	1.000	0.112
METHA-01		0.790	0.790	0.000	0.701	0.646	1.000	0.000	0.000	0.701
1-PRO-01		0.210	0.210	0.000	0.187	0.000	0.000	1.000	0.000	0.187
1:2:3-01		0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.000	0.000
Mass Flows	kg/hr	15.000	15.000	10.000	25.000	25.000	10.000	5.000	10.000	25.000
N-DOD-01	kg/hr	0.000	0.000	10.000	10.000	4.286	0.000	0.000	10.000	10.000
METHA-01	kg/hr	10.000	10.000	0.000	10.000	8.172	10.000	0.000	0.000	10.000
1-PRO-01	kg/hr	5.000	5.000	0.000	5.000	0.000	0.000	5.000	0.000	5.000
1:2:3-01	kg/hr	0.000	0.000	0.000	0.000	12.543	0.000	0.000	0.000	0.000
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.000	0.000	1.000	0.400	0.171	0.000	0.000	1.000	0.400
METHA-01		0.667	0.667	0.000	0.400	0.327	1.000	0.000	0.000	0.400
1-PRO-01		0.333	0.333	0.000	0.200	0.000	0.000	1.000	0.000	0.200
1:2:3-01		0.000	0.000	0.000	0.000	0.502	0.000	0.000	0.000	0.000
Volume Flow	l/min	0.317	24.299	0.195	135.344	77.401	0.210	0.111	0.195	20.044
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol		-48400.300		-49262.100	-46925.100				-48342.900
Mass Enthalpy	cal/gm		-1408.550		-1308.700	-1463.970				-1407.920
Molar Entropy	cal/mol-K		-32.858		-35.920	-28.606				-32.692
Mass Entropy	cal/gm-K		-0.956		-0.954	-0.892				-0.952
Molar Density	mol/cc		0.000		0.000	0.000				0.000
Mass Density	gm/cc		0.002		0.002	0.001				0.002
Enthalpy Flow	cal/sec		-989.764		-5090.660	-2765.080				-796.335
Average MW			34.362		37.642	32.053				34.336
Mole Flows	kmol/hr		0.074		0.372	0.212				0.059
N-DOD-01	kmol/hr		0.000		0.000	0.000				0.000
METHA-01	kmol/hr		0.068		0.298	0.212				0.054
1-PRO-01	kmol/hr		0.006		0.074	0.000				0.005
1:2:3-01	kmol/hr		0.000		0.000	0.000				0.000
Mole Fractions										
N-DOD-01			0.000		0.000	0.000				0.000
METHA-01			0.917		0.802	1.000				0.918
1-PRO-01			0.083		0.198	0.000				0.082
1:2:3-01			0.000		0.000	0.000				0.000
Mass Flows	kg/hr		2.530		14.004	6.800				2.036
N-DOD-01	kg/hr		0.000		0.023	0.002				0.000
METHA-01	kg/hr		2.164		9.559	6.797				1.745
1-PRO-01	kg/hr		0.366		4.422	0.000				0.291
1:2:3-01	kg/hr		0.000		0.000	0.001				0.000
Mass Fractions										
N-DOD-01			0.000		0.002	0.000				0.000
METHA-01			0.855		0.683	1.000				0.857
1-PRO-01			0.145		0.316	0.000				0.143
1:2:3-01			0.000		0.000	0.000				0.000
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-59771.000	-59005.700	-171642.000	-132041.000	-141695.000	-56940.800	-70387.300	-171651.000	-73191.400
Mass Enthalpy	cal/gm	-1575.120	-1522.050	-856.833	-878.851	-1420.720	-1777.060	-1171.250	-856.880	-1229.980
Molar Entropy	cal/mol-K	-65.596	-63.471	-309.524	-220.256	-155.855	-57.382	-101.327	-309.552	-93.430
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.729	-1.637	-1.545	-1.466	-1.563	-1.791	-1.686	-1.545	-1.570
Molar Density	mol/cc	0.021	0.019	0.004	0.005	0.009	0.025	0.013	0.004	0.013
Mass Density	gm/cc	0.787	0.738	0.855	0.802	0.853	0.793	0.752	0.856	0.776
Enthalpy Flow	cal/sec	-6563.010	-5272.340	-2380.090	-2684.520	-7182.850	-4936.280	-1626.730	-2380.220	-7845.860
Average MW		37.947	38.767	200.321	150.242	99.735	32.042	60.096	200.321	59.506
Mole Flows	kmol/hr	0.395	0.322	0.050	0.073	0.182	0.312	0.083	0.050	0.386
N-DOD-01	kmol/hr	0.000	0.000	0.050	0.050	0.021	0.000	0.000	0.050	0.050
METHA-01	kmol/hr	0.312	0.245	0.000	0.014	0.043	0.312	0.000	0.000	0.258
1-PRO-01	kmol/hr	0.083	0.077	0.000	0.010	0.000	0.000	0.083	0.000	0.078
1:2:3-01	kmol/hr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.118	0.000	0.000	0.000	0.000
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.000	0.000	1.000	0.680	0.117	0.000	0.000	1.000	0.129
METHA-01		0.790	0.760	0.000	0.188	0.235	1.000	0.000	0.000	0.668
1-PRO-01		0.210	0.240	0.000	0.131	0.000	0.000	1.000	0.000	0.203
1:2:3-01		0.000	0.000	0.000	0.000	0.648	0.000	0.000	0.000	0.000
Mass Flows	kg/hr	15.000	12.470	10.000	10.997	18.201	10.000	5.000	10.000	22.964
N-DOD-01	kg/hr	0.000	0.000	10.000	9.977	4.283	0.000	0.000	10.000	10.000
METHA-01	kg/hr	10.000	7.836	0.000	0.441	1.375	10.000	0.000	0.000	8.255
1-PRO-01	kg/hr	5.000	4.634	0.000	0.578	0.000	0.000	5.000	0.000	4.709
1:2:3-01	kg/hr	0.000	0.000	0.000	0.000	12.542	0.000	0.000	0.000	0.000
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.000	0.000	1.000	0.907	0.235	0.000	0.000	1.000	0.435
METHA-01		0.667	0.628	0.000	0.040	0.076	1.000	0.000	0.000	0.359
1-PRO-01		0.333	0.372	0.000	0.053	0.000	0.000	1.000	0.000	0.205
1:2:3-01		0.000	0.000	0.000	0.000	0.689	0.000	0.000	0.000	0.000

El costo de capital para la producción es de 1,950,810 USD, con una utilidad de 37,454 USD/Year (figura 59), un ahorro de energía por año de 2,178 cal/sec y una eficiencia del proceso del 65.19% (figura 60).



**Figura 59.** Costo de inversión de capital y utilidad anual en USD.



**Figura 60.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción.

#### 4.1.2 Proporción 2 de los componentes.

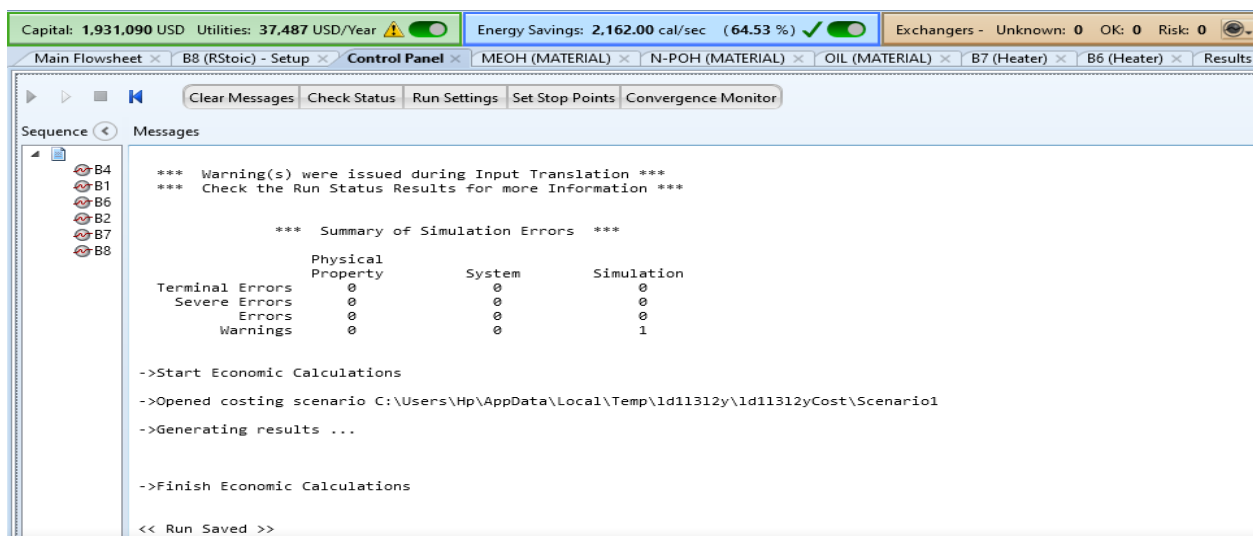
El siguiente ejercicio corresponde a cambiar las cantidades del flujo de los componentes principales, iniciando con el ácido dodecanoico de acuerdo a las proporciones descritas en la tabla 7 que se nombrara como “Proporción 2”.

Las condiciones son las mismas en cuanto a las temperaturas y presiones establecidas en el flujo representado en la Figura 57, únicamente la variación se da en las cantidades de flujo.

A partir de este momento se realizan diversas combinaciones para buscar las proporciones adecuadas que nos permitan encontrar mejor eficiencia y costo.

**Tabla 7.** Proporción 2 de componentes para la simulación en Aspen Plus®

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	10	Kg/hr
Propanol	5	Kg/hr
Acido Dodecanoico	20	Kg/hr



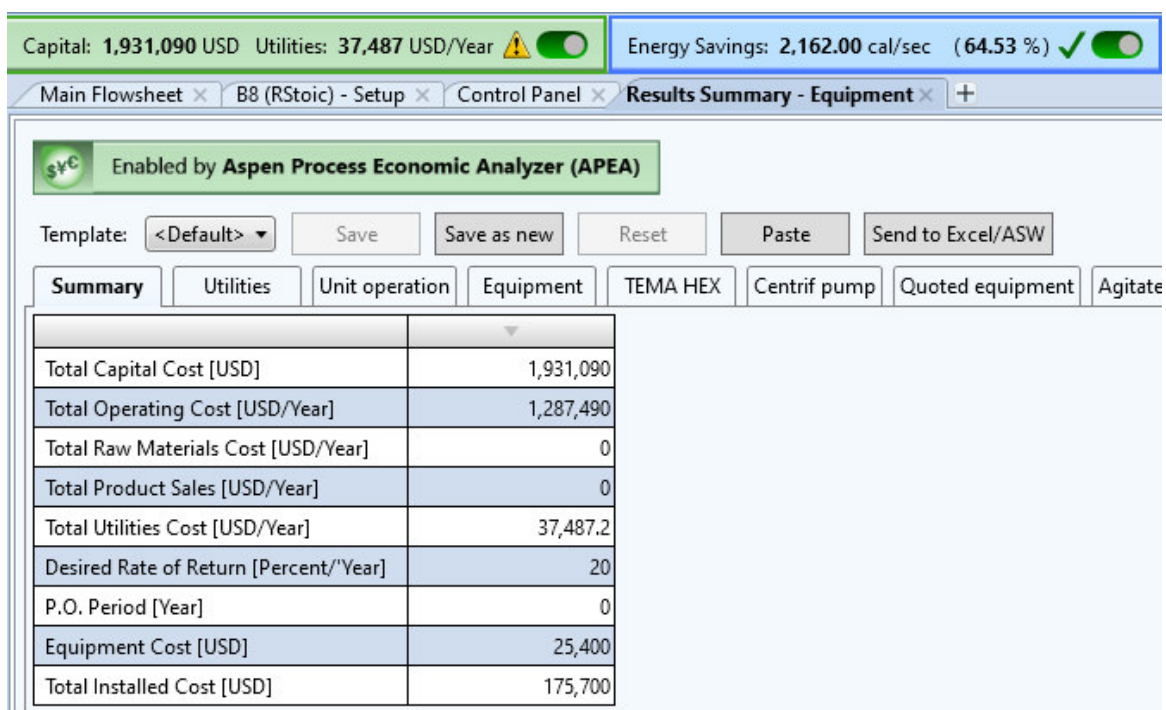
**Figura 61.** Resultado simulación, proporción 2 indicada en la tabla 7.

Tabla 8. Resultados de los componentes. Proporción 2 (Tabla 7)

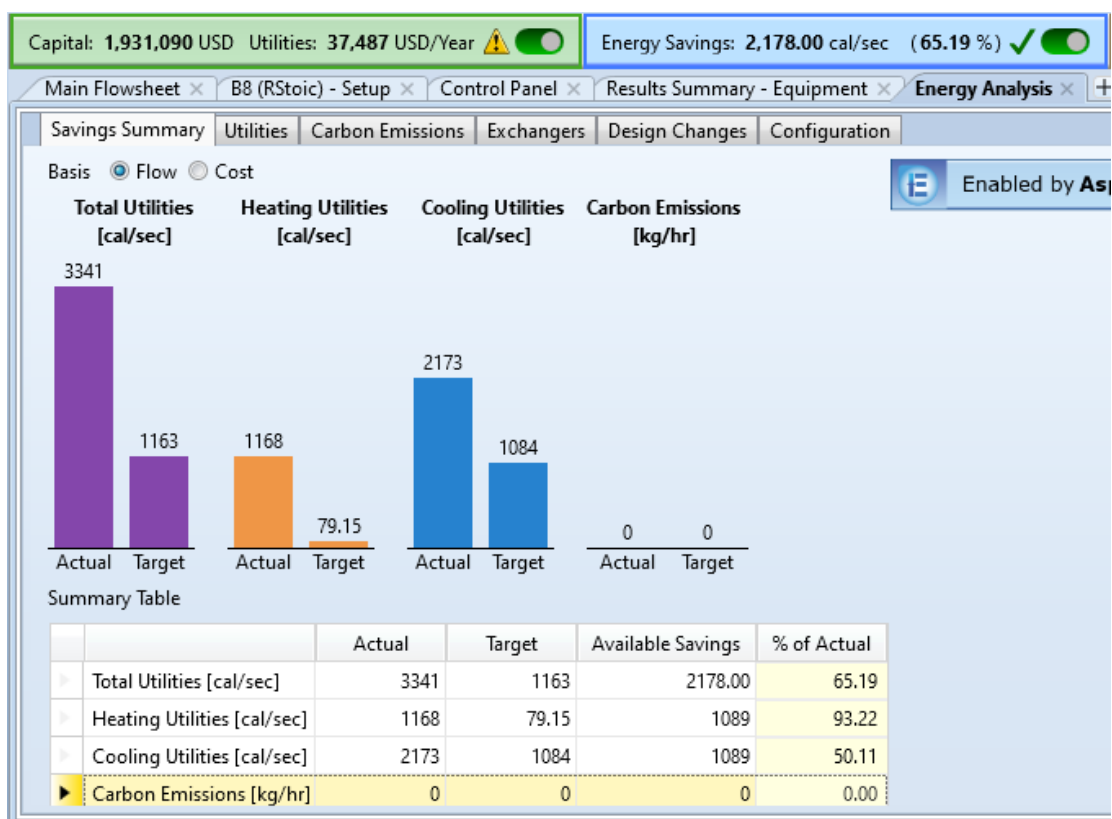
Temperatura mezcla Metanol-Propanol 80°C; Mezcla con ácido dodecanoico: 120°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MIXED Substream										
Phase		Liquid Phase					Liquid Phase		Liquid Phase	Liquid Phase
Temperature	C	39.94	80.00	70.09	120.00	120.00	25.00	70.00	70.00	86.70
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	0.19	0.00	0.71	0.44	0.00	0.00	0.00	0.08
Molar Liquid Fraction		1.00	0.81	1.00	0.29	0.56	1.00	1.00	1.00	0.92
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	0.17	0.00	0.37	0.18	0.00	0.00	0.00	0.04
Mass Liquid Fraction		1.00	0.83	1.00	0.63	0.82	1.00	1.00	1.00	0.96
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-59771.00	-57030.60	-171642.00	-73626.10	-99444.40	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-80141.20
Mass Enthalpy	cal/gm	-1575.12	-1502.90	-856.83	-1041.55	-1263.05	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1133.72
Molar Entropy	cal/mol-K	-65.60	-57.77	-309.52	-90.04	-110.93	-57.38	-101.33	-309.55	-107.60
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.73	-1.52	-1.55	-1.27	-1.41	-1.79	-1.69	-1.55	-1.52
Molar Density	mol/cc	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
Mass Density	gm/cc	0.79	0.01	0.86	0.00	0.01	0.79	0.75	0.86	0.04
Enthalpy Flow	cal/sec	-6563.01	-6262.10	-4760.18	-10126.20	-12279.80	-4936.28	-1626.73	-4760.44	-11022.30
Average MW		37.95	37.95	200.32	70.69	78.73	32.04	60.10	200.32	70.69
Mole Flows	kmol/hr	0.40	0.40	0.10	0.50	0.44	0.31	0.08	0.10	0.50
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.10	0.10	0.07	0.00	0.00	0.10	0.10
METHA-01	kmol/hr	0.31	0.31	0.00	0.31	0.26	0.31	0.00	0.00	0.31
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.20	0.16	0.00	0.00	1.00	0.20
METHA-01		0.79	0.79	0.00	0.63	0.57	1.00	0.00	0.00	0.63
1-PRO-01		0.21	0.21	0.00	0.17	0.00	0.00	1.00	0.00	0.17
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	15.00	15.00	20.00	35.00	35.00	10.00	5.00	20.00	35.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	20.00	20.00	14.29	0.00	0.00	20.00	20.00
METHA-01	kg/hr	10.00	10.00	0.00	10.00	8.17	10.00	0.00	0.00	10.00
1-PRO-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.57	0.41	0.00	0.00	1.00	0.57
METHA-01		0.67	0.67	0.00	0.29	0.23	1.00	0.00	0.00	0.29
1-PRO-01		0.33	0.33	0.00	0.14	0.00	0.00	1.00	0.00	0.14
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow	l/min	0.32	24.30	0.39	127.43	72.07	0.21	0.11	0.39	14.57
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol		-48400.30		-49129.40	-46931.80				-48285.20
Mass Enthalpy	cal/gm		-1408.55		-1316.30	-1463.62				-1408.17
Molar Entropy	cal/mol-K		-32.86		-35.48	-28.62				-32.52
Mass Entropy	cal/gm-K		-0.96		-0.96	-0.89				-0.95
Molar Density	mol/cc		0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Density	gm/cc		0.00		0.00	0.00				0.00
Enthalpy Flow	cal/sec		-989.76		-4771.15	-2565.60				-559.27
Average MW			34.36		37.32	32.07				34.29
Mole Flows	kmol/hr		0.07		0.35	0.20				0.04
N-DOD-01	kmol/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01	kmol/hr		0.07		0.28	0.20				0.04
1-PRO-01	kmol/hr		0.01		0.07	0.00				0.00
1:2:3-01	kmol/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01			0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01			0.92		0.81	1.00				0.92
1-PRO-01			0.08		0.19	0.00				0.08
1:2:3-01			0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Flows	kg/hr		2.53		13.05	6.31				1.43
N-DOD-01	kg/hr		0.00		0.02	0.01				0.00
METHA-01	kg/hr		2.16		9.11	6.30				1.23
1-PRO-01	kg/hr		0.37		3.92	0.00				0.20
1:2:3-01	kg/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01			0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01			0.86		0.70	1.00				0.86
1-PRO-01			0.14		0.30	0.00				0.14
1:2:3-01			0.00		0.00	0.00				0.00
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-59771.00	-59005.70	-171642.00	-132480.00	-141159.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-83070.40
Mass Enthalpy	cal/gm	-1575.12	-1522.05	-856.83	-878.23	-1218.94	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1122.03
Molar Entropy	cal/mol-K	-65.60	-63.47	-309.52	-221.12	-176.31	-57.38	-101.33	-309.55	-114.50
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.73	-1.64	-1.55	-1.47	-1.52	-1.79	-1.69	-1.55	-1.55
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.79	0.74	0.86	0.80	0.80	0.79	0.75	0.86	0.79
Enthalpy Flow	cal/sec	-6563.01	-5272.34	-4760.18	-5355.07	-9714.21	-4936.28	-1626.73	-4760.44	-10463.00
Average MW		37.95	38.77	200.32	150.85	115.81	32.04	60.10	200.32	74.04
Mole Flows	kmol/hr	0.40	0.32	0.10	0.15	0.25	0.31	0.08	0.10	0.45
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.10	0.10	0.07	0.00	0.00	0.10	0.10
METHA-01	kmol/hr	0.31	0.24	0.00	0.03	0.06	0.31	0.00	0.00	0.27
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.69	0.29	0.00	0.00	1.00	0.22
METHA-01		0.79	0.76	0.00	0.19	0.24	1.00	0.00	0.00	0.60
1-PRO-01		0.21	0.24	0.00	0.12	0.00	0.00	1.00	0.00	0.18
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	15.00	12.47	20.00	21.95	28.69	10.00	5.00	20.00	33.57
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	20.00	19.98	14.28	0.00	0.00	20.00	20.00
METHA-01	kg/hr	10.00	7.84	0.00	0.89	1.87	10.00	0.00	0.00	8.77
1-PRO-01	kg/hr	5.00	4.63	0.00	1.08	0.00	0.00	5.00	0.00	4.80
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.91	0.50	0.00	0.00	1.00	0.60
METHA-01		0.67	0.63	0.00	0.04	0.07	1.00	0.00	0.00	0.26
1-PRO-01		0.33	0.37	0.00	0.05	0.00	0.00	1.00	0.00	0.14
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 2 para su producción es de 1,931,090 USD, con una utilidad de 37,487 USD/Year (figura 62), un ahorro de energía por año de 2,162 cal/sec y una eficiencia del proceso del 64.53% (figura 63).



**Figura 62.** Costo para la proporción 2 de inversión de capital y utilidad anual en USD.

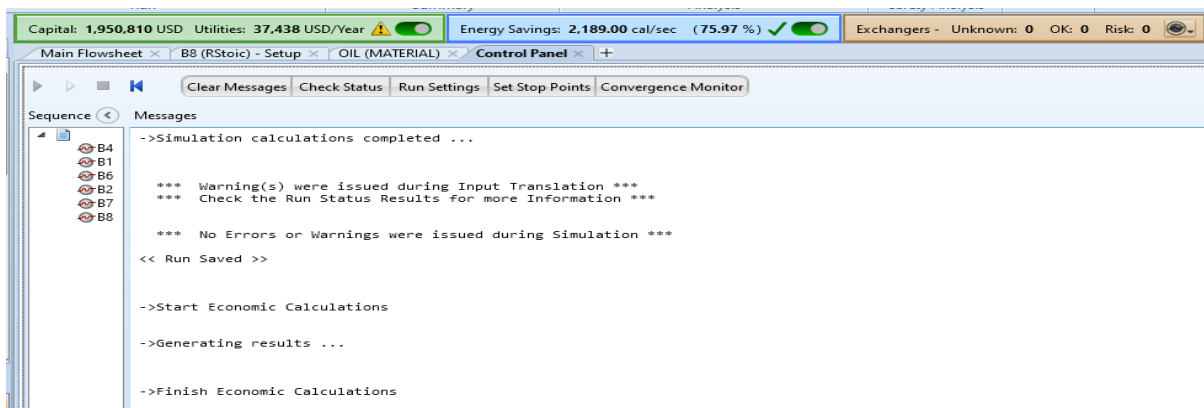


**Figura 63.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 2.

### 4.1.3 Proporción 3 de los componentes.

**Tabla 9.** Proporción 3 de componentes para la simulación en Aspen Plus®

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	10	Kg/hr
Propanol	5	Kg/hr
Acido Dodecanoico	5	Kg/hr



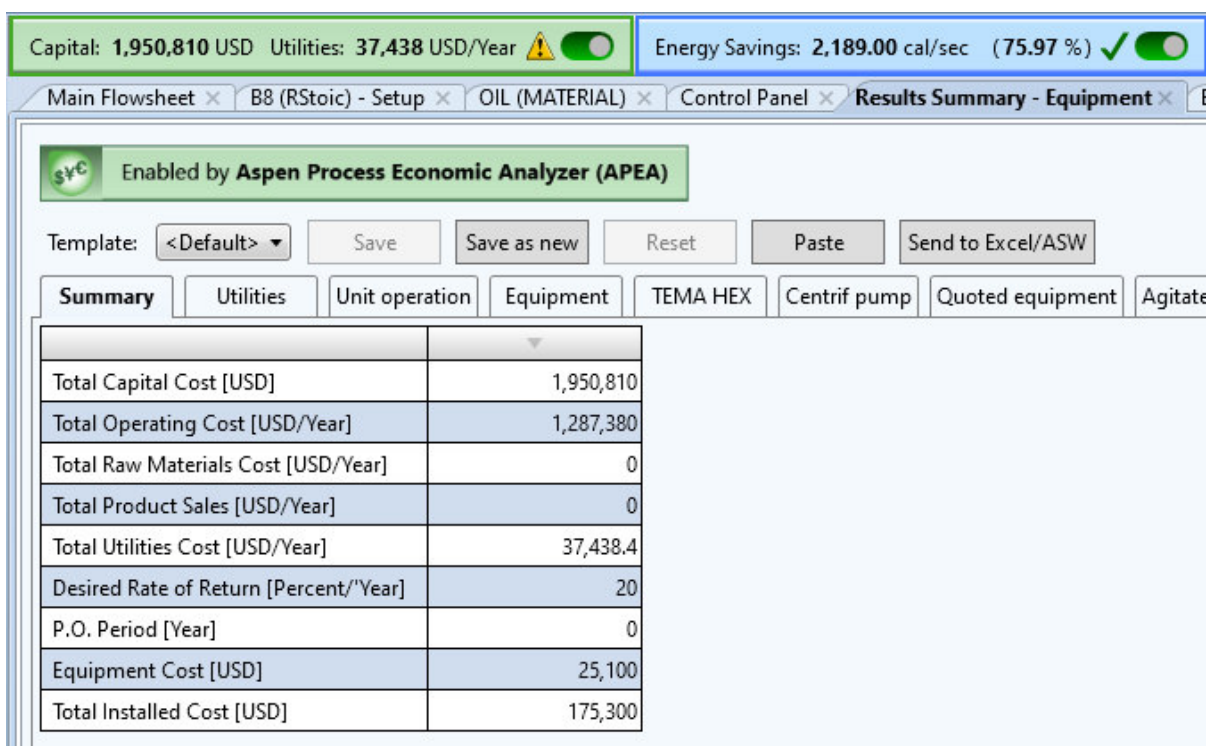
**Figura 64.** Resultado simulación, proporción 3 indicada en la tabla 9.

Tabla 10. Resultados de los componentes. Proporción 3 (Tabla 9)

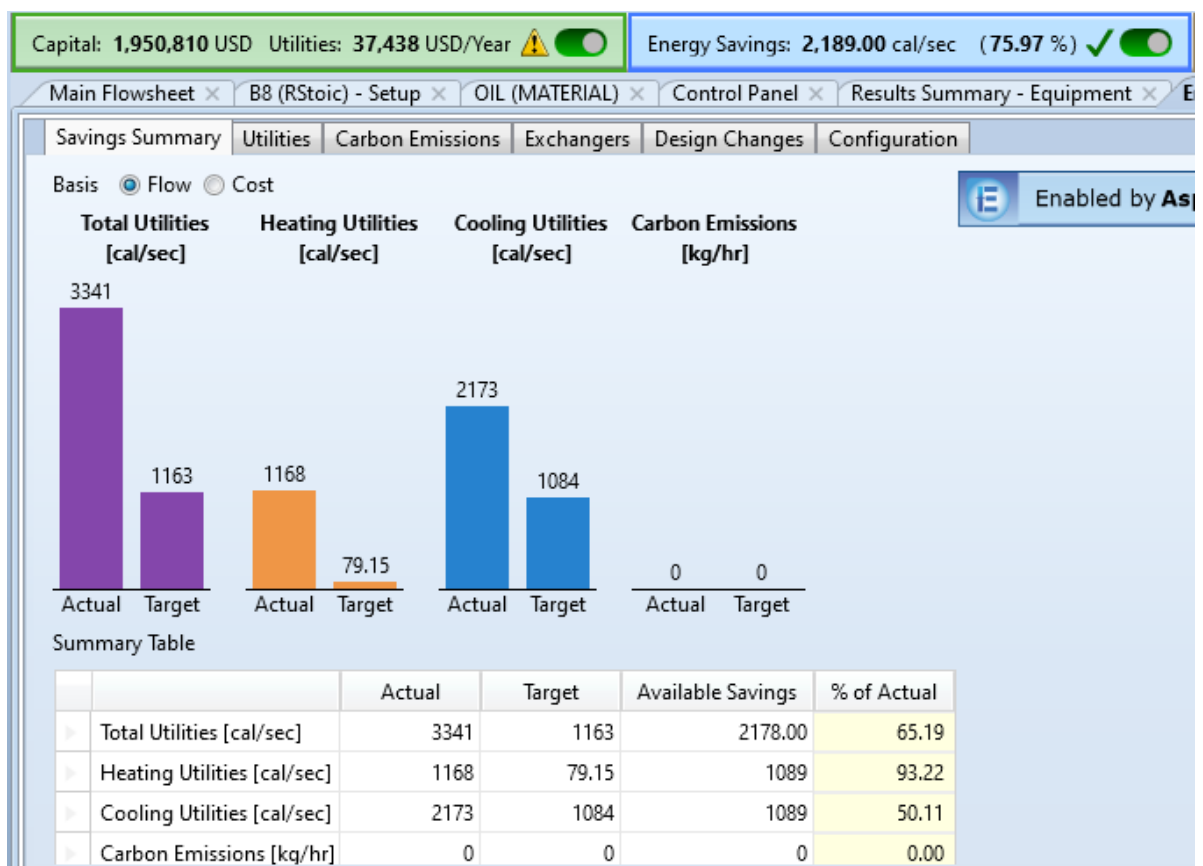
Temperatura mezcla Metanol-Propanol 80°C; Mezcla con ácido dodecanoico: 120°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MIXED Substream										
Phase		Liquid Phase			Liquid Phase		Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	
Temperature	C	39.94	80.00	70.09	120.00	120.00	25.00	70.00	70.00	81.96
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	0.19	0.00	0.91	0.66	0.00	0.00	0.00	0.16
Molar Liquid Fraction		1.00	0.81	1.00	0.09	0.34	1.00	1.00	1.00	0.84
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	0.17	0.00	0.73	0.42	0.00	0.00	0.00	0.11
Mass Liquid Fraction		1.00	0.83	1.00	0.27	0.58	1.00	1.00	1.00	0.89
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-59771.00	-57030.60	-171642.00	-56526.20	-78791.30	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-63837.70
Mass Enthalpy	cal/gm	-1575.12	-1502.90	-856.83	-1187.75	-1498.64	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1341.39
Molar Entropy	cal/mol-K	-65.60	-57.77	-309.52	-52.17	-68.47	-57.38	-101.33	-309.55	-72.30
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.73	-1.52	-1.55	-1.10	-1.30	-1.79	-1.69	-1.55	-1.52
Molar Density	mol/cc	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
Mass Density	gm/cc	0.79	0.01	0.86	0.00	0.00	0.79	0.75	0.86	0.01
Enthalpy Flow	cal/sec	-6563.01	-6262.10	-1190.05	-6598.64	-8325.90	-4936.28	-1626.73	-1190.11	-7452.15
Average MW		37.95	37.95	200.32	47.59	52.58	32.04	60.10	200.32	47.59
Mole Flows	kmol/hr	0.40	0.40	0.02	0.42	0.38	0.31	0.08	0.02	0.42
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
METHA-01	kmol/hr	0.31	0.31	0.00	0.31	0.27	0.31	0.00	0.00	0.31
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.08	0.02	0.00	0.08	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.06	0.01	0.00	0.00	1.00	0.06
METHA-01		0.79	0.79	0.00	0.74	0.70	1.00	0.00	0.00	0.74
1-PRO-01		0.21	0.21	0.00	0.20	0.05	0.00	1.00	0.00	0.20
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows										
N-DOD-01	kg/hr	15.00	15.00	5.00	20.00	20.00	10.00	5.00	5.00	20.00
METHA-01	kg/hr	10.00	10.00	0.00	10.00	8.56	10.00	0.00	0.00	10.00
1-PRO-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	5.00	1.06	0.00	5.00	0.00	5.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	9.88	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.25	0.02	0.00	0.00	1.00	0.25
METHA-01		0.67	0.67	0.00	0.50	0.43	1.00	0.00	0.00	0.50
1-PRO-01		0.33	0.33	0.00	0.25	0.05	0.00	1.00	0.00	0.25
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow										
Volume Flow	l/min	0.32	24.30	0.10	139.44	91.63	0.21	0.11	0.10	22.35
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol		-48400.30		-49334.10	-47535.20				-48371.80
Mass Enthalpy	cal/gm		-1408.55		-1304.63	-1418.21				-1408.10
Molar Entropy	cal/mol-K		-32.86		-36.16	-30.38				-32.78
Mass Entropy	cal/gm-K		-0.96		-0.96	-0.91				-0.95
Molar Density	mol/cc		0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Density	gm/cc		0.00		0.00	0.00				0.00
Enthalpy Flow	cal/sec		-989.76		-5256.80	-3323.62				-899.55
Average MW			34.36		37.81	33.52				34.35
Mole Flows	kmol/hr		0.07		0.38	0.25				0.07
N-DOD-01	kmol/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01	kmol/hr		0.07		0.31	0.24				0.06
1-PRO-01	kmol/hr		0.01		0.08	0.01				0.01
1:2:3-01	kmol/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01			0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01			0.92		0.80	0.95				0.92
1-PRO-01			0.08		0.20	0.05				0.08
1:2:3-01			0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Flows										
N-DOD-01	kg/hr		2.53		14.51	8.44				2.30
METHA-01	kg/hr		0.00		0.02	0.00				0.00
1-PRO-01	kg/hr		2.16		9.78	7.64				1.97
1:2:3-01	kg/hr		0.37		4.70	0.79				0.33
1:2:3-01	kg/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01			0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01			0.86		0.67	0.91				0.86
1-PRO-01			0.14		0.32	0.09				0.14
1:2:3-01			0.00		0.00	0.00				0.00
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-59771.00	-59005.70	-171642.00	-131802.00	-139920.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-66768.40
Mass Enthalpy	cal/gm	-1575.12	-1522.05	-856.83	-879.19	-1557.32	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1332.72
Molar Entropy	cal/mol-K	-65.60	-63.47	-309.52	-219.79	-142.98	-57.38	-101.33	-309.55	-79.79
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.73	-1.64	-1.55	-1.47	-1.59	-1.79	-1.69	-1.55	-1.59
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.02
Mass Density	gm/cc	0.79	0.74	0.86	0.80	0.91	0.79	0.75	0.86	0.76
Enthalpy Flow	cal/sec	-6563.01	-5272.34	-1190.05	-1341.83	-5002.28	-4936.28	-1626.73	-1190.11	-6552.60
Average MW		37.95	38.77	200.32	149.91	89.85	32.04	60.10	200.32	50.10
Mole Flows	kmol/hr	0.40	0.32	0.02	0.04	0.13	0.31	0.08	0.02	0.35
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
METHA-01	kmol/hr	0.31	0.24	0.00	0.01	0.03	0.31	0.00	0.00	0.25
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.68	0.02	0.00	0.00	1.00	0.07
METHA-01		0.79	0.76	0.00	0.19	0.22	1.00	0.00	0.00	0.71
1-PRO-01		0.21	0.24	0.00	0.14	0.03	0.00	1.00	0.00	0.22
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows										
N-DOD-01	kg/hr	15.00	12.47	5.00	5.49	11.56	10.00	5.00	5.00	17.70
METHA-01	kg/hr	10.00	7.84	0.00	0.22	0.92	10.00	0.00	0.00	8.03
1-PRO-01	kg/hr	5.00	4.63	0.00	0.30	0.27	0.00	5.00	0.00	4.67
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	9.88	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.91	0.04	0.00	0.00	1.00	0.28
METHA-01		0.67	0.63	0.00	0.04	0.08	1.00	0.00	0.00	0.45
1-PRO-01		0.33	0.37	0.00	0.05	0.02	0.00	1.00	0.00	0.26
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 3 para su producción es de 1,950,810 USD, con una utilidad de 37,438 USD/Year (figura 65), un ahorro de energía por año de 2,189 cal/sec y una eficiencia del proceso del 75.97% (figura 66).



**Figura 65.** Costo para la proporción 3 de inversión de capital y utilidad anual en USD.

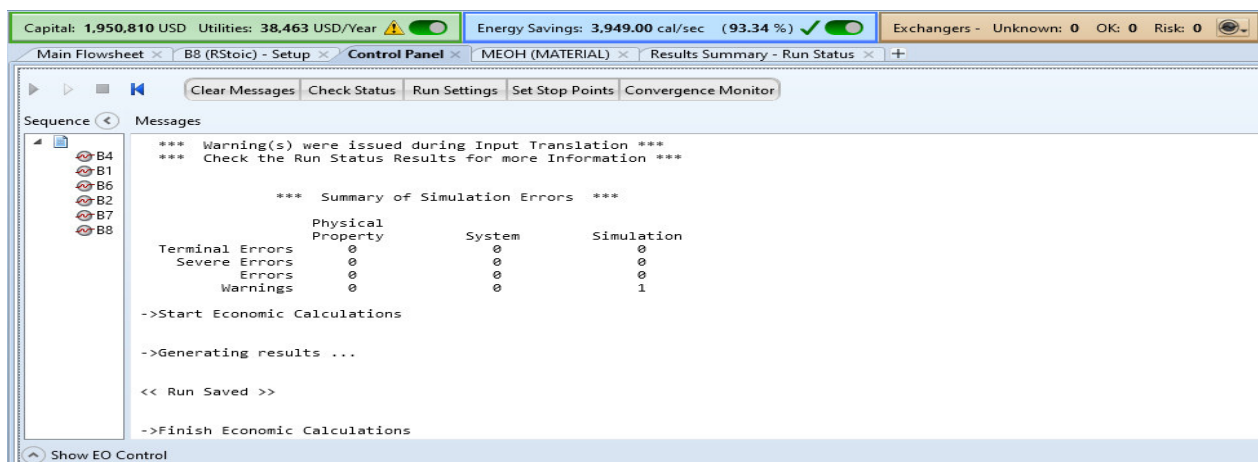


**Figura 66.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 3.

#### 4.1.4 Proporción 4 de los componentes.

**Tabla 11.** Proporción 4 de componentes para la simulación en Aspen Plus®

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	20	Kg/hr
Propanol	5	Kg/hr
Acido Dodecanoico	10	Kg/hr



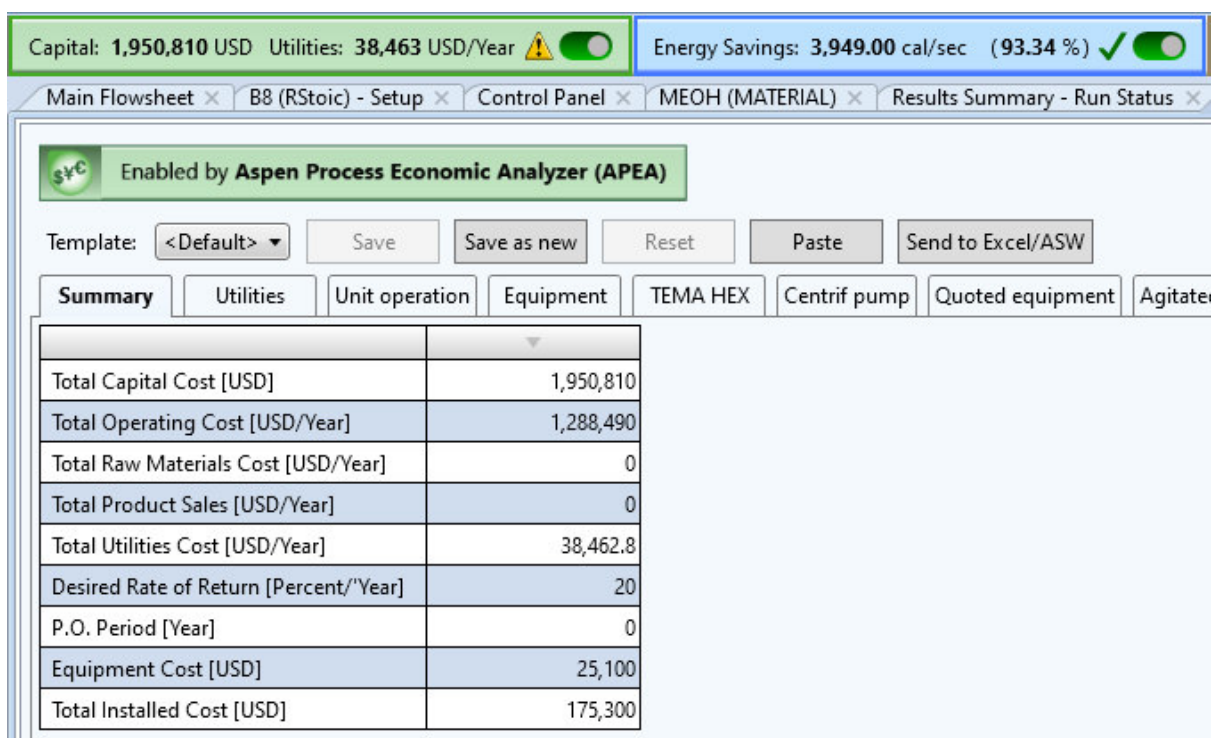
**Figura 67.** Resultado simulación, proporción 4 indicada en la tabla 11.

Tabla 12. Resultados de los componentes. Proporción 4 (Tabla 11)

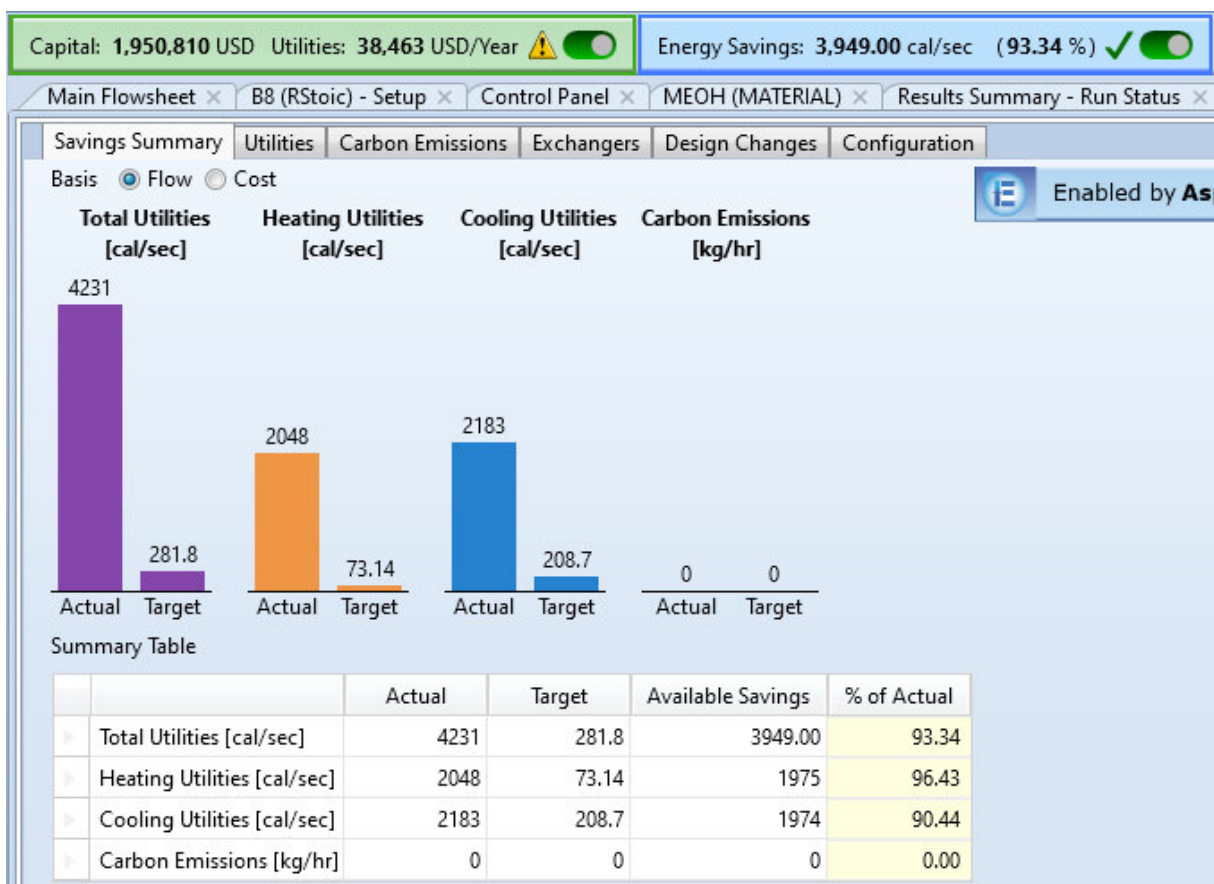
Temperatura mezcla Metanol-Propanol 80°C; Mezcla con ácido dodecanoico: 120°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MIXED Substream										
Phase		Liquid Phase			Liquid Phase		Liquid Phase		Liquid Phase	
Temperature	C	34.02	80.00	70.09	120.00	120.00	25.00	70.00	70.00	86.69
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	0.78	0.00	0.91	0.74	0.00	0.00	0.00	0.70
Molar Liquid Fraction		1.00	0.22	1.00	0.09	0.26	1.00	1.00	1.00	0.30
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	0.76	0.00	0.69	0.48	0.00	0.00	0.00	0.52
Mass Liquid Fraction		1.00	0.24	1.00	0.31	0.52	1.00	1.00	1.00	0.48
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-58522.40	-50759.20	-171642.00	-56245.40	-71392.80	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-58727.60
Mass Enthalpy	cal/gm	-1655.90	-1436.24	-856.83	-1216.99	-1441.53	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1270.69
Molar Entropy	cal/mol-K	-61.82	-39.67	-309.52	-50.46	-61.46	-57.38	-101.33	-309.55	-57.15
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.75	-1.12	-1.55	-1.09	-1.24	-1.79	-1.69	-1.55	-1.24
Molar Density	mol/cc	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
Mass Density	gm/cc	0.79	0.00	0.86	0.00	0.00	0.79	0.75	0.86	0.00
Enthalpy Flow	cal/sec	-11499.30	-9973.87	-2380.09	-11831.80	-14015.00	-9872.55	-1626.73	-2380.22	-12354.00
Average MW		35.34	35.34	200.32	46.22	49.53	32.04	60.10	200.32	46.22
Mole Flows	kmol/hr	0.71	0.71	0.05	0.76	0.71	0.62	0.08	0.05	0.76
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.62	0.62	0.00	0.62	0.57	0.62	0.00	0.00	0.62
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.07	0.03	0.00	0.00	1.00	0.07
METHA-01		0.88	0.88	0.00	0.82	0.80	1.00	0.00	0.00	0.82
1-PRO-01		0.12	0.12	0.00	0.11	0.00	0.00	1.00	0.00	0.11
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	25.00	25.00	10.00	35.00	35.00	20.00	5.00	10.00	35.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	10.00	4.29	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	20.00	18.17	20.00	0.00	0.00	20.00
1-PRO-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.29	0.12	0.00	0.00	1.00	0.29
METHA-01		0.80	0.80	0.00	0.57	0.52	1.00	0.00	0.00	0.57
1-PRO-01		0.20	0.20	0.00	0.14	0.00	0.00	1.00	0.00	0.14
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow	l/min	0.53	179.59	0.19	250.08	190.76	0.42	0.11	0.19	176.28
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol		-48400.30		-48275.30	-46925.10				-48292.90
Mass Enthalpy	cal/gm		-1408.55		-1368.50	-1463.97				-1407.68
Molar Entropy	cal/mol-K		-32.86		-32.69	-28.61				-32.55
Mass Entropy	cal/gm-K		-0.96		-0.93	-0.89				-0.95
Molar Density	mol/cc		0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Density	gm/cc		0.00		0.00	0.00				0.00
Enthalpy Flow	cal/sec		-7395.05		-9225.17	-6833.53				-7099.30
Average MW			34.36		35.28	32.05				34.31
Mole Flows	kmol/hr		0.55		0.69	0.52				0.53
N-DOD-01	kmol/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01	kmol/hr		0.50		0.61	0.52				0.49
1-PRO-01	kmol/hr		0.05		0.08	0.00				0.04
1:2:3-01	kmol/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01			0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01			0.92		0.89	1.00				0.92
1-PRO-01			0.08		0.11	0.00				0.08
1:2:3-01			0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Flows	kg/hr		18.90		24.27	16.80				18.16
N-DOD-01	kg/hr		0.00		0.04	0.01				0.00
METHA-01	kg/hr		16.17		19.54	16.80				15.59
1-PRO-01	kg/hr		2.73		4.69	0.00				2.57
1:2:3-01	kg/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01			0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01			0.86		0.81	1.00				0.86
1-PRO-01			0.14		0.19	0.00				0.14
1:2:3-01			0.00		0.00	0.00				0.00
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-58522.40	-59005.70	-171642.00	-135301.00	-141695.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-82939.30
Mass Enthalpy	cal/gm	-1655.90	-1522.05	-856.83	-874.37	-1420.81	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1123.04
Molar Entropy	cal/mol-K	-61.82	-63.47	-309.52	-226.71	-155.85	-57.38	-101.33	-309.55	-114.23
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.75	-1.64	-1.55	-1.47	-1.56	-1.79	-1.69	-1.55	-1.55
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.79	0.74	0.86	0.81	0.85	0.79	0.75	0.86	0.79
Enthalpy Flow	cal/sec	-11499.30	-2578.83	-2380.09	-2606.64	-7181.51	-9872.55	-1626.73	-2380.22	-5254.67
Average MW		35.34	38.77	200.32	154.74	99.73	32.04	60.10	200.32	73.85
Mole Flows	kmol/hr	0.71	0.16	0.05	0.07	0.18	0.62	0.08	0.05	0.23
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.62	0.12	0.00	0.01	0.04	0.62	0.00	0.00	0.14
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	0.04
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.72	0.12	0.00	0.00	1.00	0.22
METHA-01		0.88	0.76	0.00	0.21	0.24	1.00	0.00	0.00	0.60
1-PRO-01		0.12	0.24	0.00	0.08	0.00	0.00	1.00	0.00	0.18
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	25.00	6.10	10.00	10.73	18.20	20.00	5.00	10.00	16.84
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	9.96	4.28	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	20.00	3.83	0.00	0.46	1.38	20.00	0.00	0.00	4.41
1-PRO-01	kg/hr	5.00	2.27	0.00	0.31	0.00	0.00	5.00	0.00	2.43
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.93	0.24	0.00	0.00	1.00	0.59
METHA-01		0.80	0.63	0.00	0.04	0.08	1.00	0.00	0.00	0.26
1-PRO-01		0.20	0.37	0.00	0.03	0.00	0.00	1.00	0.00	0.14
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 4 para su producción es de 1,950,810 USD, con una utilidad de 38,463 USD/Year (figura 68), un ahorro de energía por año de 3,949 cal/sec y una eficiencia del proceso del 93.34% (figura 69).



**Figura 68.** Costo para la proporción 4 de inversión de capital y utilidad anual en USD.

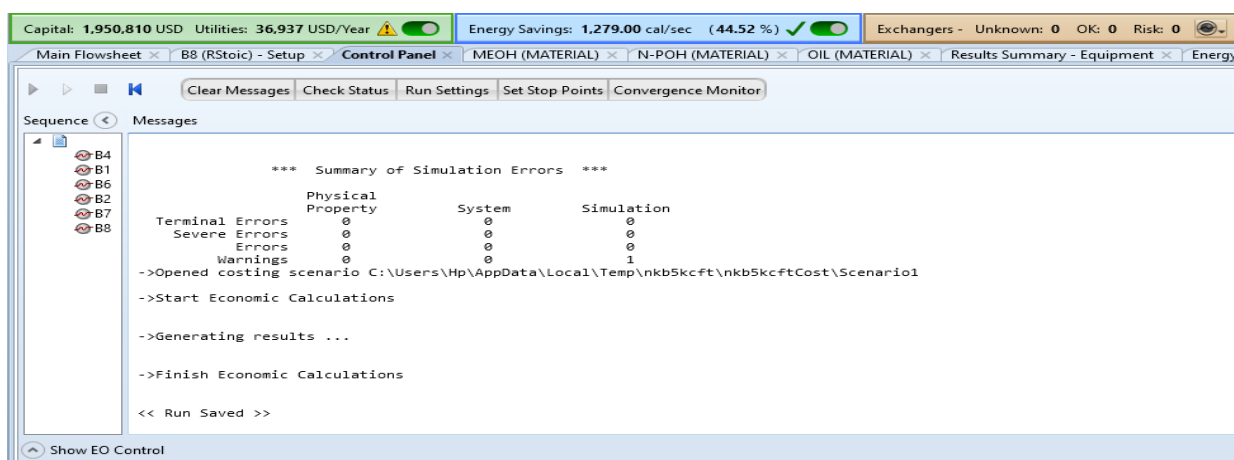


**Figura 69.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 4

#### 4.1.5 Proporción 5 de los componentes.

**Tabla 13.** Proporción 5 de componentes para la simulación en Aspen Plus®

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	5	Kg/hr
Propanol	5	Kg/hr
Acido Dodecanoico	10	Kg/hr



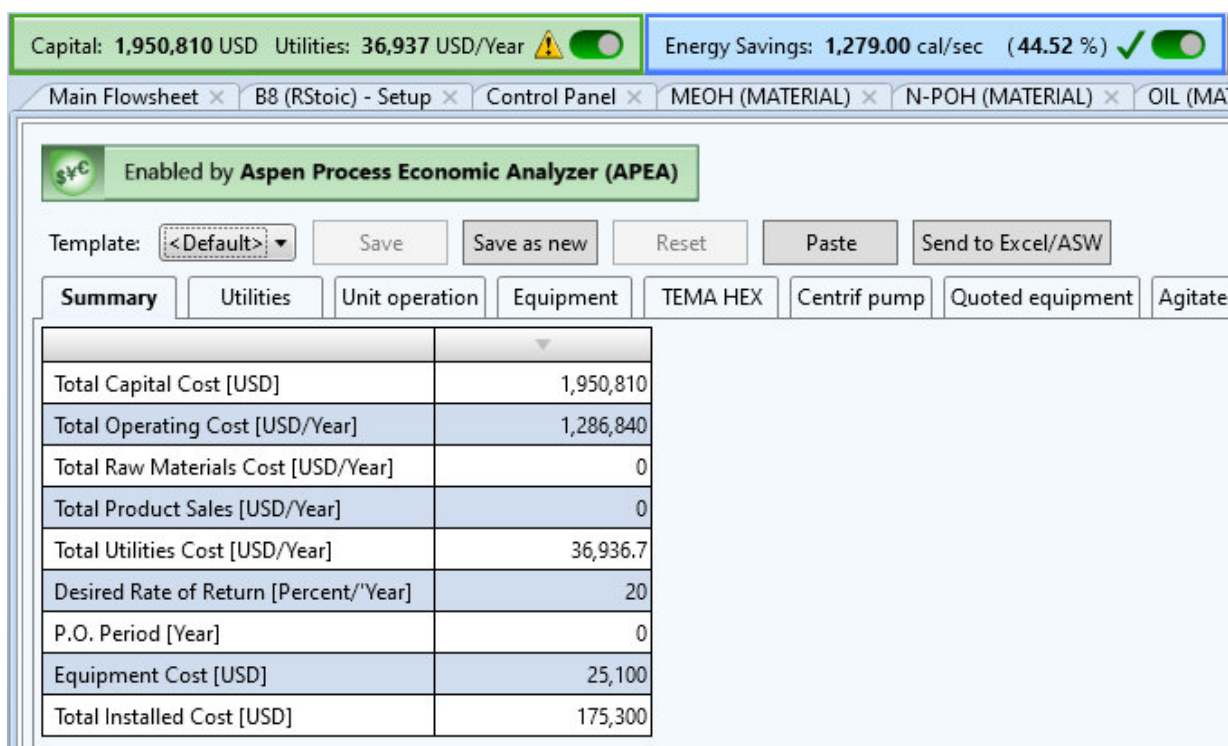
**Figura 70.** Resultado simulación, proporción 5 indicada en la tabla 13.

**Tabla 14.** Resultados de los componentes. Proporción 5 (Tabla 13)

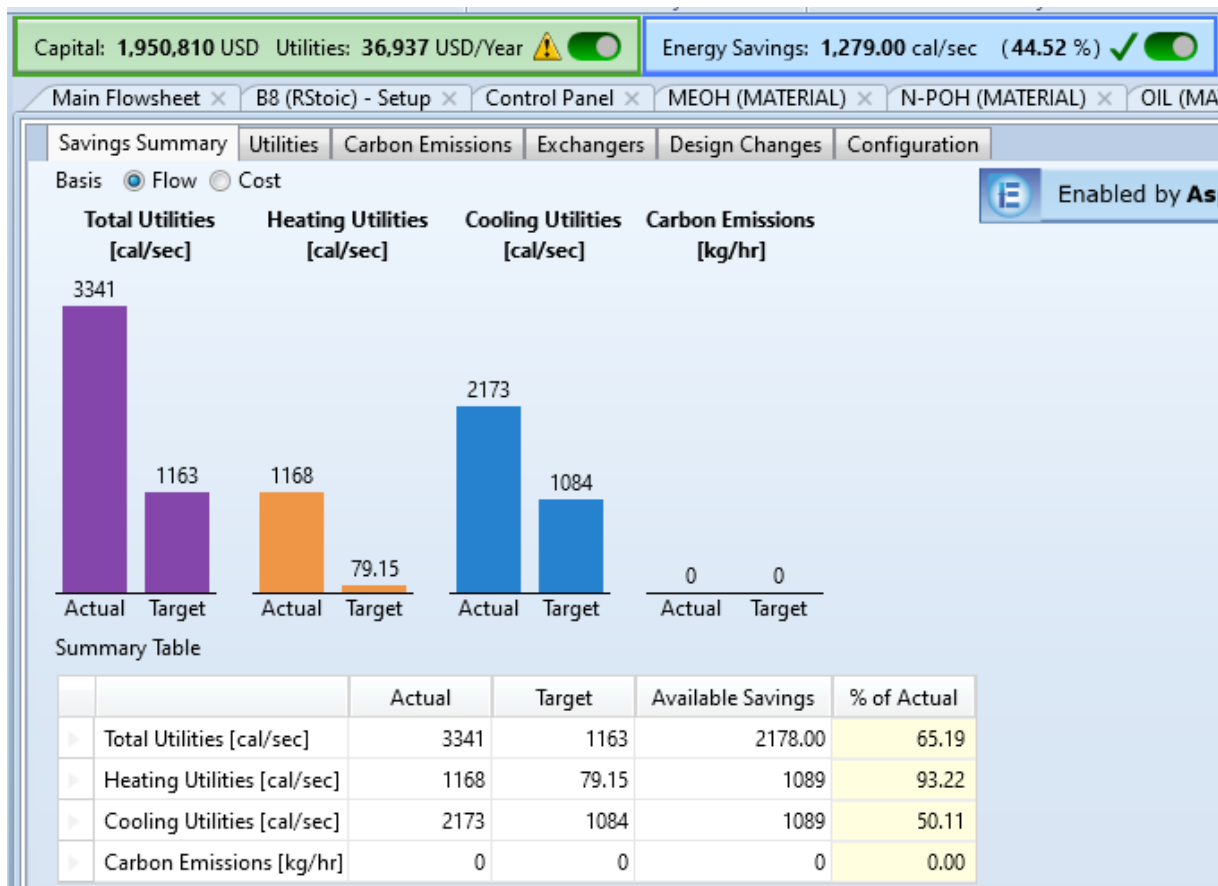
Temperatura mezcla Metanol-Propanol 80°C; Mezcla con ácido dodecanoico: 120°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MIXED Substream										
Phase		Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase			Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase
Temperature	C	47.32	80.00	70.09	120.00	120.00	25.00	70.00	70.00	76.02
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.73	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.27	0.76	1.00	1.00	1.00	1.00
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.43	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.57	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-61617.00	-60557.50	-171642.00	-71684.50	-119423.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-79734.50
Mass Enthalpy	cal/gm	-1474.15	-1448.81	-856.83	-1036.43	-1424.56	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1152.82
Molar Entropy	cal/mol-K	-71.37	-68.32	-309.52	-87.36	-125.95	-57.38	-101.33	-309.55	-109.03
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.71	-1.63	-1.55	-1.26	-1.50	-1.79	-1.69	-1.55	-1.58
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.78	0.74	0.86	0.00	0.02	0.79	0.75	0.86	0.79
Enthalpy Flow	cal/sec	-4094.87	-4024.46	-2380.09	-5757.95	-7914.38	-2468.14	-1626.73	-2380.22	-6404.55
Average MW		41.80	41.80	200.32	69.16	83.83	32.04	60.10	200.32	69.16
Mole Flows	kmol/hr	0.24	0.24	0.05	0.29	0.24	0.16	0.08	0.05	0.29
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.16	0.16	0.00	0.16	0.10	0.16	0.00	0.00	0.16
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.17	0.09	0.00	0.00	1.00	0.17
METHA-01		0.65	0.65	0.00	0.54	0.41	1.00	0.00	0.00	0.54
1-PRO-01		0.35	0.35	0.00	0.29	0.00	0.00	1.00	0.00	0.29
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	10.00	10.00	10.00	20.00	20.00	5.00	5.00	10.00	20.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	10.00	4.29	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	5.00	3.17	5.00	0.00	0.00	5.00
1-PRO-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.50	0.21	0.00	0.00	1.00	0.50
METHA-01		0.50	0.50	0.00	0.25	0.16	1.00	0.00	0.00	0.25
1-PRO-01		0.50	0.50	0.00	0.25	0.00	0.00	1.00	0.00	0.25
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow	l/min	0.21	0.22	0.19	76.49	20.72	0.11	0.11	0.19	0.42
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol				-50653.00	-46925.10				
Mass Enthalpy	cal/gm				-1236.14	-1463.97				
Molar Entropy	cal/mol-K				-40.63	-28.61				
Mass Entropy	cal/gm-K				-0.99	-0.89				
Molar Density	mol/cc				0.00	0.00				
Mass Density	gm/cc				0.00	0.00				
Enthalpy Flow	cal/sec				-2954.05	-730.85				
Average MW					40.98	32.05				
Mole Flows	kmol/hr				0.21	0.06				
N-DOD-01	kmol/hr				0.00	0.00				
METHA-01	kmol/hr				0.14	0.06				
1-PRO-01	kmol/hr				0.07	0.00				
1:2:3-01	kmol/hr				0.00	0.00				
Mole Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.68	1.00				
1-PRO-01					0.32	0.00				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Mass Flows	kg/hr				8.60	1.80				
N-DOD-01	kg/hr				0.01	0.00				
METHA-01	kg/hr				4.59	1.80				
1-PRO-01	kg/hr				4.00	0.00				
1:2:3-01	kg/hr				0.00	0.00				
Mass Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.53	1.00				
1-PRO-01					0.46	0.00				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-61617.00	-60557.50	-171642.00	-127426.00	-141695.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-79734.50
Mass Enthalpy	cal/gm	-1474.15	-1448.81	-856.83	-885.68	-1420.67	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1152.82
Molar Entropy	cal/mol-K	-71.37	-68.32	-309.52	-211.22	-155.86	-57.38	-101.33	-309.55	-109.03
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.71	-1.63	-1.55	-1.47	-1.56	-1.79	-1.69	-1.55	-1.58
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.78	0.74	0.86	0.79	0.85	0.79	0.75	0.86	0.79
Enthalpy Flow	cal/sec	-4094.87	-4024.46	-2380.09	-2803.90	-7183.52	-2468.14	-1626.73	-2380.22	-6404.55
Average MW		41.80	41.80	200.32	143.87	99.74	32.04	60.10	200.32	69.16
Mole Flows	kmol/hr	0.24	0.24	0.05	0.08	0.18	0.16	0.08	0.05	0.29
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.16	0.16	0.00	0.01	0.04	0.16	0.00	0.00	0.16
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.63	0.12	0.00	0.00	1.00	0.17
METHA-01		0.65	0.65	0.00	0.16	0.24	1.00	0.00	0.00	0.54
1-PRO-01		0.35	0.35	0.00	0.21	0.00	0.00	1.00	0.00	0.29
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	10.00	10.00	10.00	11.40	18.20	5.00	5.00	10.00	20.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	9.99	4.29	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	0.41	1.38	5.00	0.00	0.00	5.00
1-PRO-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	1.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.88	0.24	0.00	0.00	1.00	0.50
METHA-01		0.50	0.50	0.00	0.04	0.08	1.00	0.00	0.00	0.25
1-PRO-01		0.50	0.50	0.00	0.09	0.00	0.00	1.00	0.00	0.25
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 5 para su producción es de 1,950,810 USD, con una utilidad de 36,937 USD/Year (figura 71), un ahorro de energía por año de 1,279 cal/sec y una eficiencia del proceso del 44.52% (figura 72).



**Figura 71.** Costo para la proporción 5 de inversión de capital y utilidad anual en USD.

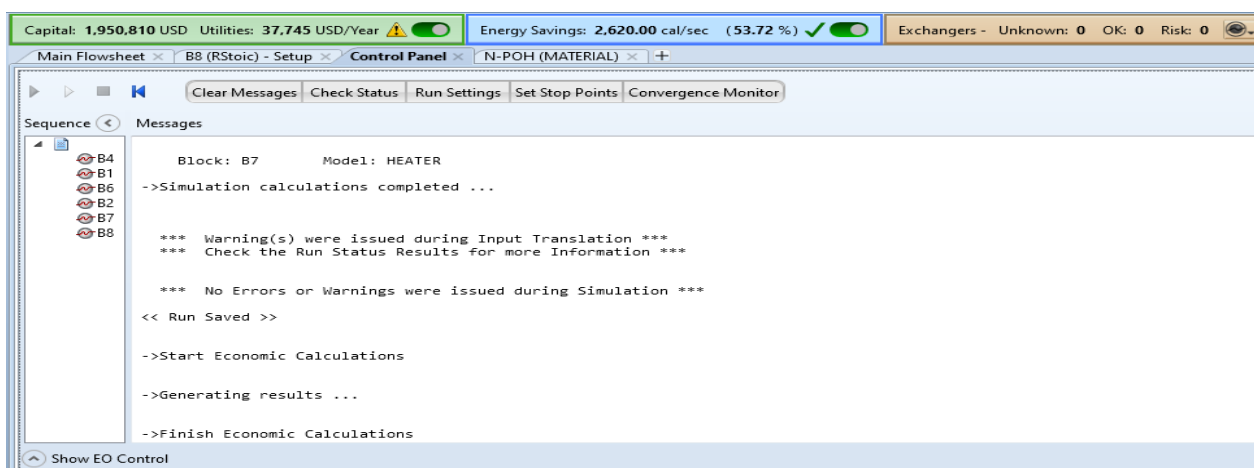


**Figura 72.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 5

#### 4.1.6 Proporción 6 de los componentes.

**Tabla 15.** Proporción 6 de componentes para la simulación en Aspen Plus®

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	10	Kg/hr
Propanol	10	Kg/hr
Acido Dodecanoico	10	Kg/hr



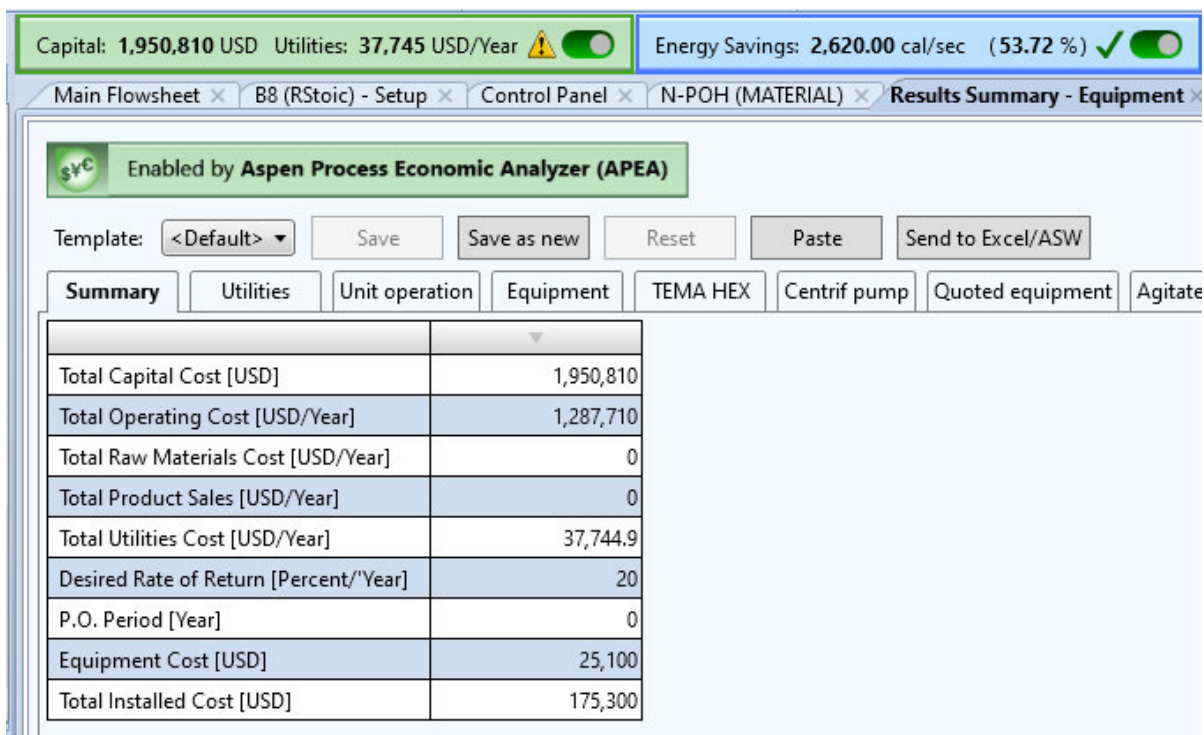
**Figura 73.** Resultado simulación, proporción 6 indicada en la tabla 15.

**Tabla 16.** Resultados de los componentes. Proporción 6 (Tabla 15)

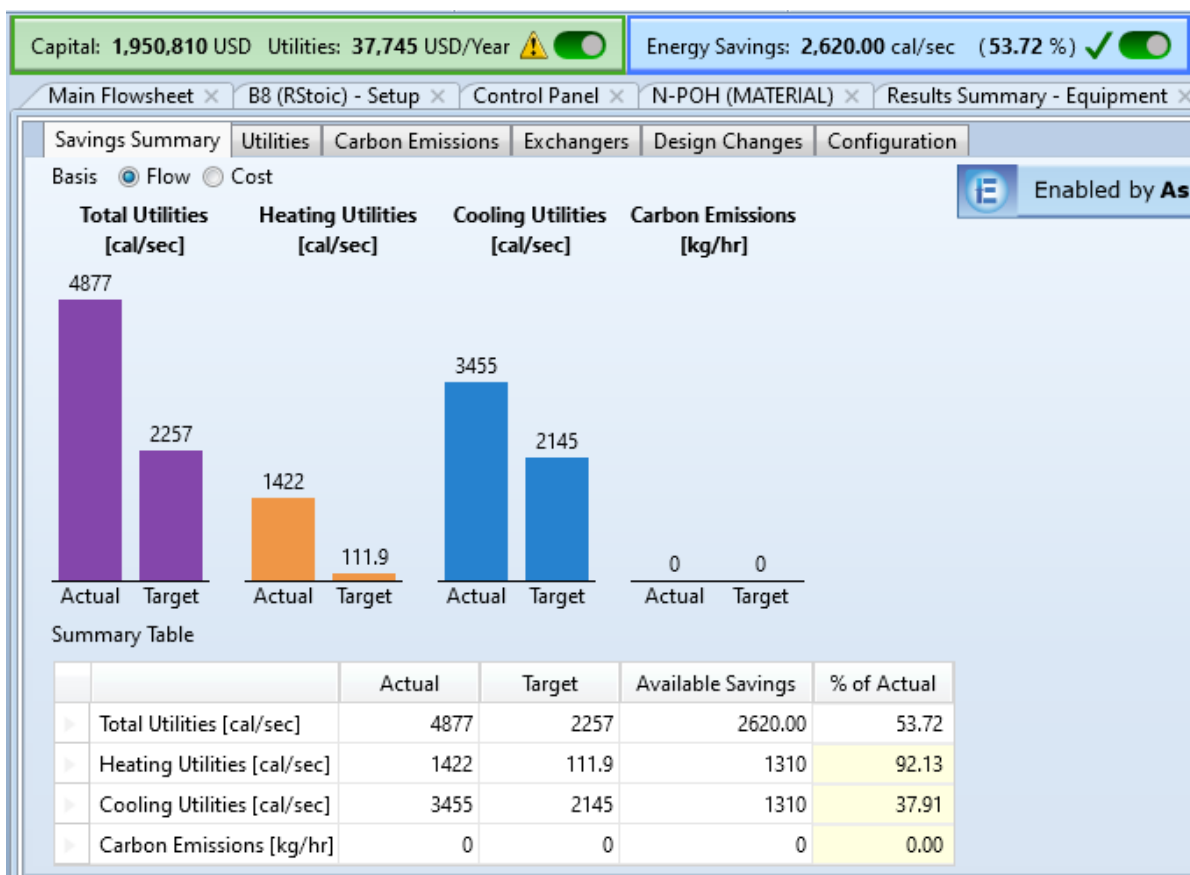
Temperatura mezcla Metanol-Propanol 80°C; Mezcla con ácido dodecanoico: 120°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MIXED Substream										
Phase		Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase			Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase
Temperature	C	47.32	80.00	70.09	120.00	120.00	25.00	70.00	70.00	77.51
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.85	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.15	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.82	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.38	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-61617.00	-60557.50	-171642.00	-62325.60	-101111.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-71051.90
Mass Enthalpy	cal/gm	-1474.15	-1448.81	-856.83	-1097.78	-1512.38	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1251.48
Molar Entropy	cal/mol-K	-71.37	-68.32	-309.52	-66.77	-96.70	-57.38	-101.33	-309.55	-90.48
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.71	-1.63	-1.55	-1.18	-1.45	-1.79	-1.69	-1.55	-1.59
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.78	0.74	0.86	0.00	0.01	0.79	0.75	0.86	0.77
Enthalpy Flow	cal/sec	-8189.74	-8048.93	-2380.09	-9148.17	-12603.40	-4936.28	-3253.47	-2380.22	-10429.00
Average MW		41.80	41.80	200.32	56.77	66.86	32.04	60.10	200.32	56.77
Mole Flows	kmol/hr	0.48	0.48	0.05	0.53	0.45	0.31	0.17	0.05	0.53
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.31	0.31	0.00	0.31	0.22	0.31	0.00	0.00	0.31
1-PRO-01	kmol/hr	0.17	0.17	0.00	0.17	0.04	0.00	0.17	0.00	0.17
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.09	0.01	0.00	0.00	1.00	0.09
METHA-01		0.65	0.65	0.00	0.59	0.50	1.00	0.00	0.00	0.59
1-PRO-01		0.35	0.35	0.00	0.31	0.08	0.00	1.00	0.00	0.31
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	20.00	20.00	10.00	30.00	30.00	10.00	10.00	10.00	30.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	10.00	1.00	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	10.00	10.00	0.00	10.00	7.12	10.00	0.00	0.00	10.00
1-PRO-01	kg/hr	10.00	10.00	0.00	10.00	2.13	0.00	10.00	0.00	10.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	19.75	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.33	0.03	0.00	0.00	1.00	0.33
METHA-01		0.50	0.50	0.00	0.33	0.24	1.00	0.00	0.00	0.33
1-PRO-01		0.50	0.50	0.00	0.33	0.07	0.00	1.00	0.00	0.33
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow	l/min	0.43	0.45	0.19	163.13	67.39	0.21	0.22	0.19	0.65
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol				-50827.20	-48071.40				
Mass Enthalpy	cal/gm				-1227.87	-1381.24				
Molar Entropy	cal/mol-K				-41.23	-32.06				
Mass Entropy	cal/gm-K				-1.00	-0.92				
Molar Density	mol/cc				0.00	0.00				
Mass Density	gm/cc				0.00	0.00				
Enthalpy Flow	cal/sec				-6332.01	-2461.78				
Average MW					41.39	34.80				
Mole Flows	kmol/hr				0.45	0.18				
N-DOD-01	kmol/hr				0.00	0.00				
METHA-01	kmol/hr				0.30	0.17				
1-PRO-01	kmol/hr				0.15	0.02				
1:2:3-01	kmol/hr				0.00	0.00				
Mole Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.67	0.90				
1-PRO-01					0.33	0.10				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Mass Flows	kg/hr				18.56	6.42				
N-DOD-01	kg/hr				0.02	0.00				
METHA-01	kg/hr				9.60	5.33				
1-PRO-01	kg/hr				8.94	1.09				
1:2:3-01	kg/hr				0.00	0.00				
Mass Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.52	0.83				
1-PRO-01					0.48	0.17				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-61617.00	-60557.50	-171642.00	-126846.00	-138097.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-71051.90
Mass Enthalpy	cal/gm	-1474.15	-1448.81	-856.83	-886.58	-1548.06	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1251.48
Molar Entropy	cal/mol-K	-71.37	-68.32	-309.52	-210.09	-141.77	-57.38	-101.33	-309.55	-90.48
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.71	-1.63	-1.55	-1.47	-1.59	-1.79	-1.69	-1.55	-1.59
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.78	0.74	0.86	0.79	0.90	0.79	0.75	0.86	0.77
Enthalpy Flow	cal/sec	-8189.74	-8048.93	-2380.09	-2816.16	-10141.60	-4936.28	-3253.47	-2380.22	-10429.00
Average MW		41.80	41.80	200.32	143.07	89.21	32.04	60.10	200.32	56.77
Mole Flows	kmol/hr	0.48	0.48	0.05	0.08	0.26	0.31	0.17	0.05	0.53
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.31	0.31	0.00	0.01	0.06	0.31	0.00	0.00	0.31
1-PRO-01	kmol/hr	0.17	0.17	0.00	0.02	0.02	0.00	0.17	0.00	0.17
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.62	0.02	0.00	0.00	1.00	0.09
METHA-01		0.65	0.65	0.00	0.16	0.21	1.00	0.00	0.00	0.59
1-PRO-01		0.35	0.35	0.00	0.22	0.07	0.00	1.00	0.00	0.31
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	20.00	20.00	10.00	11.44	23.58	10.00	10.00	10.00	30.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	9.98	1.00	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	10.00	10.00	0.00	4.40	1.79	10.00	0.00	0.00	10.00
1-PRO-01	kg/hr	10.00	10.00	0.00	1.06	1.04	0.00	10.00	0.00	10.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	19.75	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.87	0.04	0.00	0.00	1.00	0.33
METHA-01		0.50	0.50	0.00	0.04	0.08	1.00	0.00	0.00	0.33
1-PRO-01		0.50	0.50	0.00	0.09	0.04	0.00	1.00	0.00	0.33
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 6 para su producción es de 1,950,810 USD, con una utilidad de 37,745 USD/Year (figura 74), un ahorro de energía por año de 2,620 cal/sec y una eficiencia del proceso del 53.72% (figura 75).



**Figura 74.** Costo para la proporción 6 de inversión de capital y utilidad anual en USD.

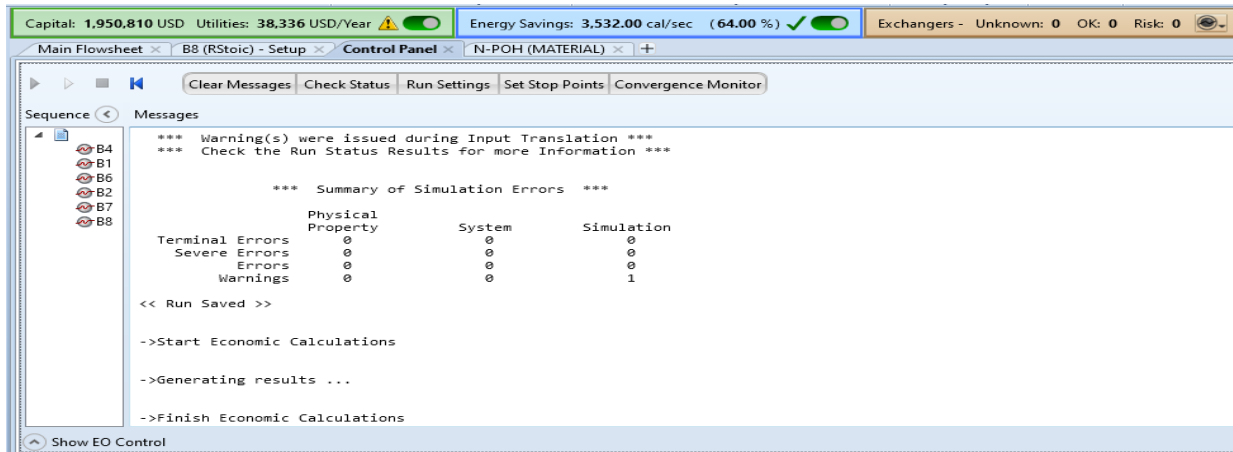


**Figura 75.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 6

#### 4.1.7 Proporción 7 de los componentes.

**Tabla 17.** Proporción 7 de componentes para la simulación en Aspen Plus®

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	10	Kg/hr
Propanol	20	Kg/hr
Acido Dodecanoico	10	Kg/hr



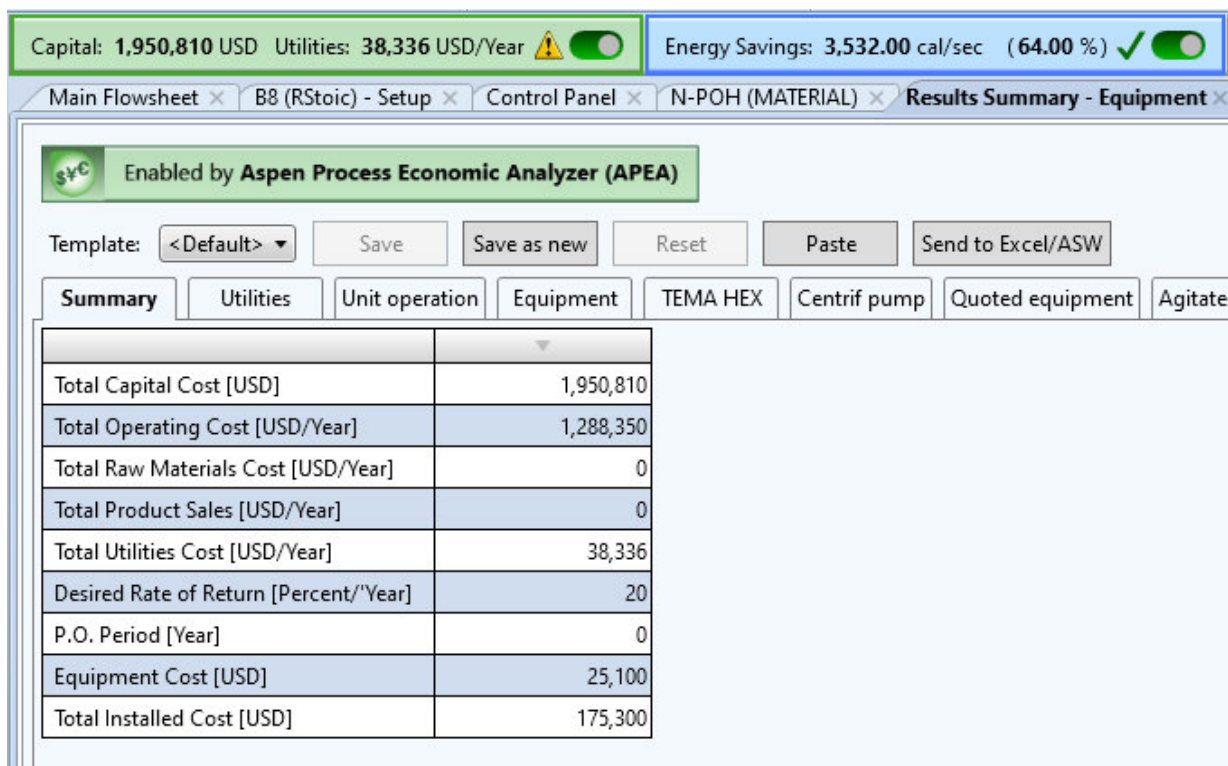
**Figura 76.** Resultado simulación, proporción 7 indicada en la tabla 17.

**Tabla 18.** Resultados de los componentes. Proporción 7 (Tabla 17)

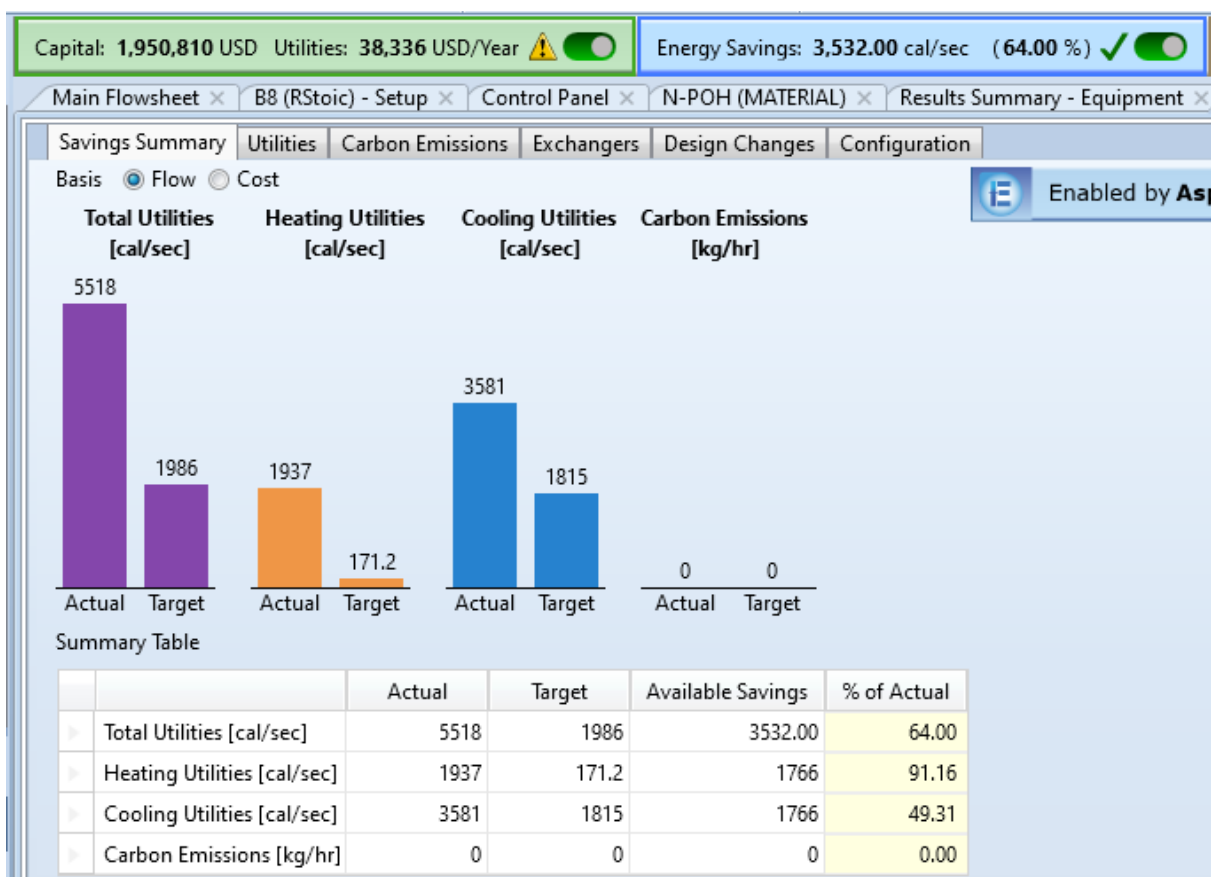
Temperatura mezcla Metanol-Propanol 80°C; Mezcla con ácido dodecanoico: 120°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MIXED Substream										
Phase		Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase			Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase
Temperature	C	54.73	80.00	70.09	120.00	120.00	25.00	70.00	70.00	78.15
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.87	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.13	0.52	1.00	1.00	1.00	1.00
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.70	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.30	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-63880.00	-62975.80	-171642.00	-61586.00	-90518.90	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-70783.10
Mass Enthalpy	cal/gm	-1373.19	-1353.75	-856.83	-1069.76	-1392.02	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1229.52
Molar Entropy	cal/mol-K	-78.67	-76.09	-309.52	-67.58	-91.11	-57.38	-101.33	-309.55	-92.34
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.69	-1.64	-1.55	-1.17	-1.40	-1.79	-1.69	-1.55	-1.60
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.78	0.75	0.86	0.00	0.01	0.79	0.75	0.86	0.76
Enthalpy Flow	cal/sec	-11443.20	-11281.20	-2380.09	-11886.30	-15467.10	-4936.28	-6506.94	-2380.22	-13661.30
Average MW		46.52	46.52	200.32	57.57	65.03	32.04	60.10	200.32	57.57
Mole Flows	kmol/hr	0.64	0.64	0.05	0.69	0.62	0.31	0.33	0.05	0.69
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.31	0.31	0.00	0.31	0.22	0.31	0.00	0.00	0.31
1-PRO-01	kmol/hr	0.33	0.33	0.00	0.33	0.20	0.00	0.33	0.00	0.33
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.07	0.01	0.00	0.00	1.00	0.07
METHA-01		0.48	0.48	0.00	0.45	0.36	1.00	0.00	0.00	0.45
1-PRO-01		0.52	0.52	0.00	0.48	0.33	0.00	1.00	0.00	0.48
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	30.00	30.00	10.00	40.00	40.00	10.00	20.00	10.00	40.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	10.00	1.00	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	10.00	10.00	0.00	10.00	7.12	10.00	0.00	0.00	10.00
1-PRO-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	20.00	12.13	0.00	20.00	0.00	20.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	19.75	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.25	0.02	0.00	0.00	1.00	0.25
METHA-01		0.33	0.33	0.00	0.25	0.18	1.00	0.00	0.00	0.25
1-PRO-01		0.67	0.67	0.00	0.50	0.30	0.00	1.00	0.00	0.50
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow	l/min	0.64	0.67	0.19	219.75	107.20	0.21	0.44	0.19	0.87
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol				-52803.00	-51573.30				
Mass Enthalpy	cal/gm				-1144.61	-1193.92				
Molar Entropy	cal/mol-K				-48.16	-43.84				
Mass Entropy	cal/gm-K				-1.04	-1.01				
Molar Density	mol/cc				0.00	0.00				
Mass Density	gm/cc				0.00	0.00				
Enthalpy Flow	cal/sec				-8864.04	-4207.72				
Average MW					46.13	43.20				
Mole Flows	kmol/hr				0.60	0.29				
N-DOD-01	kmol/hr				0.00	0.00				
METHA-01	kmol/hr				0.30	0.18				
1-PRO-01	kmol/hr				0.30	0.12				
1:2:3-01	kmol/hr				0.00	0.00				
Mole Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.50	0.60				
1-PRO-01					0.50	0.40				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Mass Flows	kg/hr				27.88	12.69				
N-DOD-01	kg/hr				0.03	0.00				
METHA-01	kg/hr				9.66	5.67				
1-PRO-01	kg/hr				18.19	7.02				
1:2:3-01	kg/hr				0.00	0.00				
Mass Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.35	0.45				
1-PRO-01					0.65	0.55				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-63880.00	-62975.80	-171642.00	-120250.00	-126107.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-70783.10
Mass Enthalpy	cal/gm	-1373.19	-1353.75	-856.83	-897.62	-1484.04	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1229.52
Molar Entropy	cal/mol-K	-78.67	-76.09	-309.52	-197.30	-134.29	-57.38	-101.33	-309.55	-92.34
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.69	-1.64	-1.55	-1.47	-1.58	-1.79	-1.69	-1.55	-1.60
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.78	0.75	0.86	0.78	0.87	0.79	0.75	0.86	0.76
Enthalpy Flow	cal/sec	-11443.20	-11281.20	-2380.09	-3022.22	-11259.40	-4936.28	-6506.94	-2380.22	-13661.30
Average MW		46.52	46.52	200.32	133.97	84.98	32.04	60.10	200.32	57.57
Mole Flows	kmol/hr	0.64	0.64	0.05	0.09	0.32	0.31	0.33	0.05	0.69
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.31	0.31	0.00	0.01	0.05	0.31	0.00	0.00	0.31
1-PRO-01	kmol/hr	0.33	0.33	0.00	0.03	0.09	0.00	0.33	0.00	0.33
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.55	0.02	0.00	0.00	1.00	0.07
METHA-01		0.48	0.48	0.00	0.12	0.14	1.00	0.00	0.00	0.45
1-PRO-01		0.52	0.52	0.00	0.33	0.26	0.00	1.00	0.00	0.48
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	30.00	30.00	10.00	12.12	27.31	10.00	20.00	10.00	40.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	9.97	1.00	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	10.00	10.00	0.00	0.34	1.45	10.00	0.00	0.00	10.00
1-PRO-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	1.81	5.11	0.00	20.00	0.00	20.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	19.75	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.82	0.04	0.00	0.00	1.00	0.25
METHA-01		0.33	0.33	0.00	0.03	0.05	1.00	0.00	0.00	0.25
1-PRO-01		0.67	0.67	0.00	0.15	0.19	0.00	1.00	0.00	0.50
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 7 para su producción es de 1,950,810 USD, con una utilidad de 38,336 USD/Year (figura 77), un ahorro de energía por año de 3,532 cal/sec y una eficiencia del proceso del 64.00% (figura 78).



**Figura 77.** Costo para la proporción 7 de inversión de capital y utilidad anual en USD.



**Figura 78.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 7.

#### 4.1.8 Resumen de resultados de simulaciones: diversas proporciones, temperatura inicial.

La tabla 19 resume los resultados obtenidos en cada uno de las simulaciones con sus proporciones. Tomando como referencia el mejor porcentaje de eficiencia y los mejores valores de ahorro de energía por cada una de las combinaciones por componente se seleccionó el mejor valor de flujo y se realizó nuevamente una nueva corrida de simulación obteniendo los siguientes resultados en la proporción número 8:

Tabla 19. Resumen de resultados de las simulaciones con sus variaciones en flujos de componentes

Metanol	Propanol	Acido dodecanoico	Temperatura calentador 1	Temperatura calentador 2		Inversión	Utilidad	Ahorro energía	% efectividad
kg/hr			°C	°C		Million USD	Mil USD/Year	cal/sec	%
10	5	10	80	120		1,950.81	37.45	2,178.00	65.19
10	5	20	80	120		1,931.09	37.49	2,162.00	64.53
10	5	5	80	120		1,950.81	37.44	2,189.00	75.97
20	5	10	80	120		1,950.81	38.46	3,949.00	93.34
5	5	10	80	120		1,950.81	36.94	1,279.00	44.52
10	10	10	80	120		1,950.81	37.75	2,620.00	53.72
10	20	10	80	120		1,950.81	38.34	3,532.00	64.00

#### 4.1.9 Proporción 8: combinación de las mejores proporciones, temperatura inicial.

Tabla 20. Proporción 8 de componentes para la simulación en Aspen Plus®

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	20	Kg/hr
Propanol	20	Kg/hr
Acido Dodecanoico	5	Kg/hr

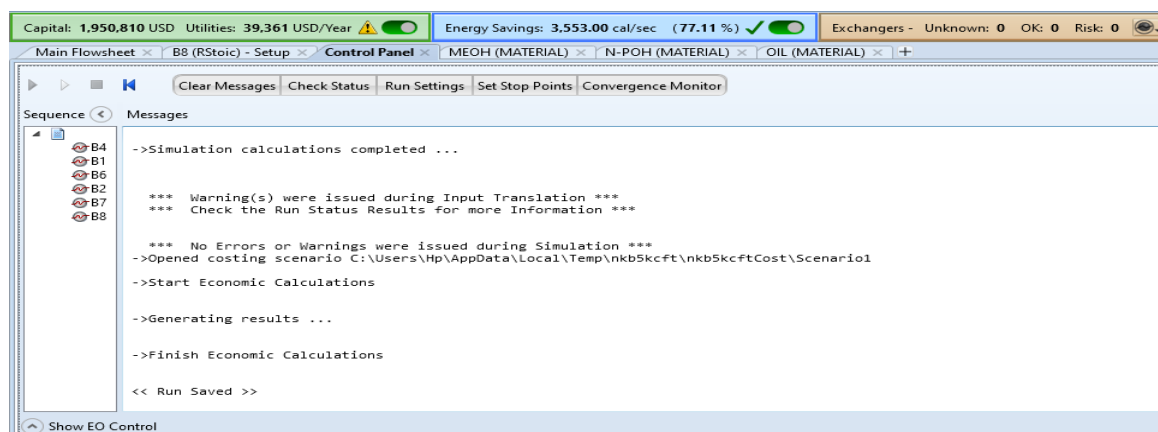


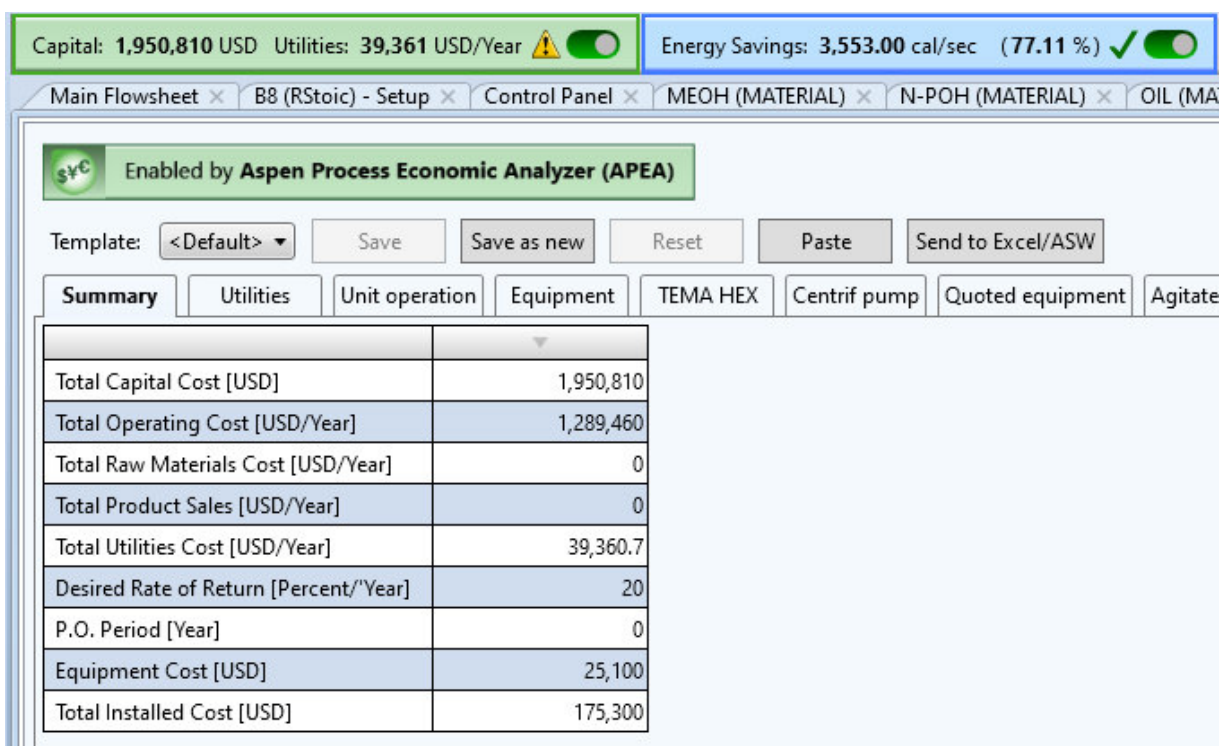
Figura 79. Resultado simulación, proporción 8 indicada en la tabla 20.

Tabla 21. Resultados de los componentes. Proporción 8 (Tabla 20)

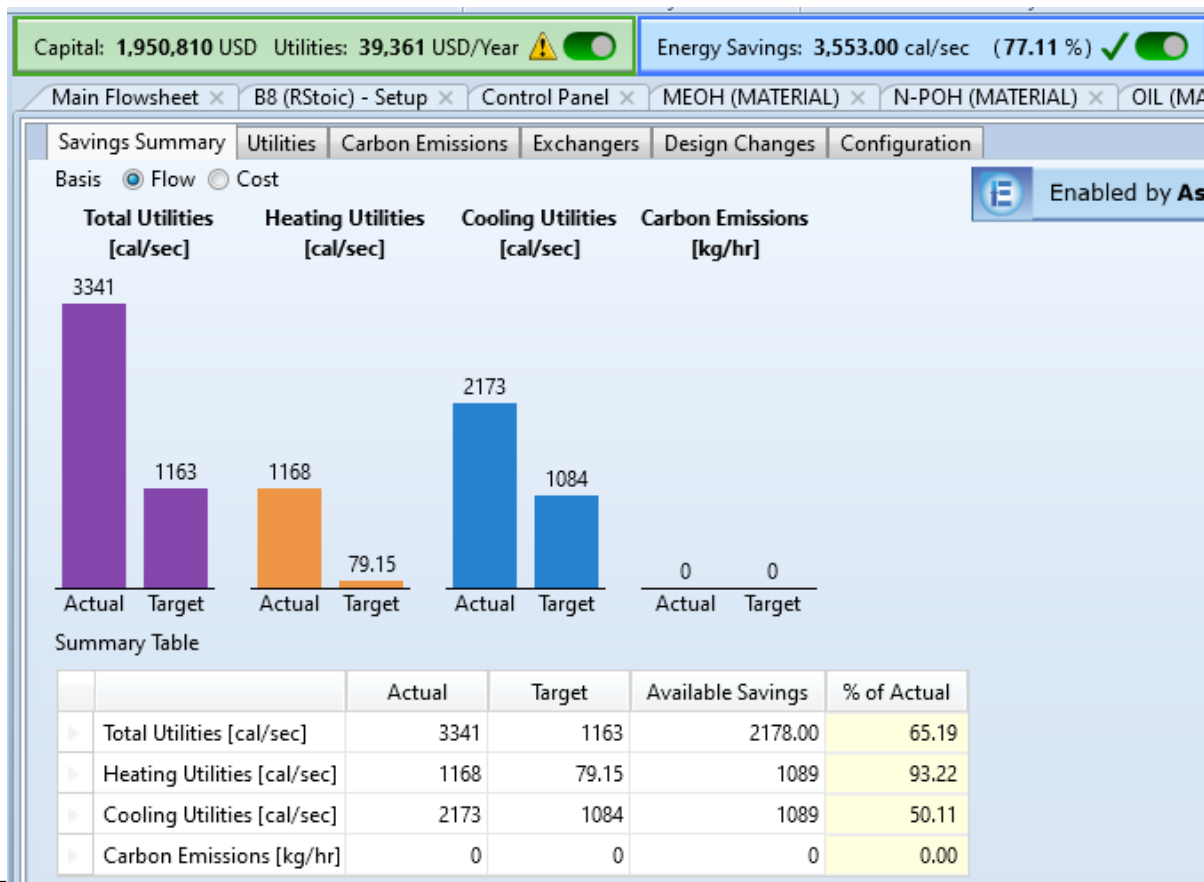
Temperatura mezcla Metanol-Propanol 80°C; Mezcla con ácido dodecanoico: 120°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MIXED Substream										
Phase		Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase			Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase
Temperature	C	47.32	80.00	70.09	120.00	120.00	25.00	70.00	70.00	79.23
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.96	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.04	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.87	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.13	0.29	1.00	1.00	1.00	1.00
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-61617.00	-60557.50	-171642.00	-54036.40	-63108.90	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-63381.20
Mass Enthalpy	cal/gm	-1474.15	-1448.81	-856.83	-1179.12	-1321.22	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1383.03
Molar Entropy	cal/mol-K	-71.37	-68.32	-309.52	-48.52	-55.30	-57.38	-101.33	-309.55	-74.22
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.71	-1.63	-1.55	-1.06	-1.16	-1.79	-1.69	-1.55	-1.62
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02
Mass Density	gm/cc	0.78	0.74	0.86	0.00	0.00	0.79	0.75	0.86	0.75
Enthalpy Flow	cal/sec	-16379.50	-16097.90	-1190.05	-14739.00	-16515.30	-9872.55	-6506.94	-1190.11	-17287.90
Average MW		41.80	41.80	200.32	45.83	47.77	32.04	60.10	200.32	45.83
Mole Flows	kmol/hr	0.96	0.96	0.02	0.98	0.94	0.62	0.33	0.02	0.98
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
METHA-01	kmol/hr	0.62	0.62	0.00	0.62	0.58	0.62	0.00	0.00	0.62
1-PRO-01	kmol/hr	0.33	0.33	0.00	0.33	0.27	0.00	0.33	0.00	0.33
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	0.03
METHA-01		0.65	0.65	0.00	0.64	0.61	1.00	0.00	0.00	0.64
1-PRO-01		0.35	0.35	0.00	0.34	0.28	0.00	1.00	0.00	0.34
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	40.00	40.00	5.00	45.00	45.00	20.00	20.00	5.00	45.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	5.00	5.00	0.50	0.00	0.00	5.00	5.00
METHA-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	20.00	18.56	20.00	0.00	0.00	20.00
1-PRO-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	20.00	16.06	0.00	20.00	0.00	20.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	9.88	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.11	0.01	0.00	0.00	1.00	0.11
METHA-01		0.50	0.50	0.00	0.44	0.41	1.00	0.00	0.00	0.44
1-PRO-01		0.50	0.50	0.00	0.44	0.36	0.00	1.00	0.00	0.44
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow	l/min	0.85	0.90	0.10	342.24	287.92	0.42	0.44	0.10	1.00
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol				-50966.20	-50428.80				
Mass Enthalpy	cal/gm				-1221.39	-1246.59				
Molar Entropy	cal/mol-K				-41.71	-39.89				
Mass Entropy	cal/gm-K				-1.00	-0.99				
Molar Density	mol/cc				0.00	0.00				
Mass Density	gm/cc				0.00	0.00				
Enthalpy Flow	cal/sec				-13335.70	-11095.10				
Average MW					41.73	40.45				
Mole Flows	kmol/hr				0.94	0.79				
N-DOD-01	kmol/hr				0.00	0.00				
METHA-01	kmol/hr				0.62	0.55				
1-PRO-01	kmol/hr				0.32	0.24				
1:2:3-01	kmol/hr				0.00	0.00				
Mole Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.66	0.70				
1-PRO-01					0.34	0.30				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Mass Flows	kg/hr				39.31	32.04				
N-DOD-01	kg/hr				0.05	0.00				
METHA-01	kg/hr				19.80	17.77				
1-PRO-01	kg/hr				19.45	14.27				
1:2:3-01	kg/hr				0.00	0.00				
Mass Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.50	0.55				
1-PRO-01					0.49	0.45				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-61617.00	-60557.50	-171642.00	-126384.00	-130042.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-63381.20
Mass Enthalpy	cal/gm	-1474.15	-1448.81	-856.83	-887.31	-1505.73	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1383.03
Molar Entropy	cal/mol-K	-71.37	-68.32	-309.52	-209.18	-136.69	-57.38	-101.33	-309.55	-74.22
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.71	-1.63	-1.55	-1.47	-1.58	-1.79	-1.69	-1.55	-1.62
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.02
Mass Density	gm/cc	0.78	0.74	0.86	0.79	0.88	0.79	0.75	0.86	0.75
Enthalpy Flow	cal/sec	-16379.50	-16097.90	-1190.05	-1403.36	-5420.20	-9872.55	-6506.94	-1190.11	-17287.90
Average MW		41.80	41.80	200.32	142.44	86.36	32.04	60.10	200.32	45.83
Mole Flows	kmol/hr	0.96	0.96	0.02	0.04	0.15	0.62	0.33	0.02	0.98
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
METHA-01	kmol/hr	0.62	0.62	0.00	0.01	0.02	0.62	0.00	0.00	0.62
1-PRO-01	kmol/hr	0.33	0.33	0.00	0.01	0.03	0.00	0.33	0.00	0.33
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.62	0.02	0.00	0.00	1.00	0.03
METHA-01		0.65	0.65	0.00	0.15	0.16	1.00	0.00	0.00	0.64
1-PRO-01		0.35	0.35	0.00	0.23	0.20	0.00	1.00	0.00	0.34
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	40.00	40.00	5.00	5.69	12.96	20.00	20.00	5.00	45.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	5.00	4.95	0.50	0.00	0.00	5.00	5.00
METHA-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	0.20	0.79	20.00	0.00	0.00	20.00
1-PRO-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	0.55	1.80	0.00	20.00	0.00	20.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	9.87	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.87	0.04	0.00	0.00	1.00	0.11
METHA-01		0.50	0.50	0.00	0.03	0.06	1.00	0.00	0.00	0.44
1-PRO-01		0.50	0.50	0.00	0.10	0.14	0.00	1.00	0.00	0.44
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 8 (combinación de los mejores flujos de los componentes) para su producción es de 1,950,810 USD, con una utilidad de 39,361 USD/Year (figura 80), un ahorro de energía por año de 3,553 cal/sec y una eficiencia del proceso del 77.11% (figura 81).



**Figura 80.** Costo para la proporción 8 de inversión de capital y utilidad anual en USD.



**Figura 81.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 8.

#### 4.1.10 Resumen de resultados de simulaciones: mejores proporciones, temperatura inicial.

La tabla 22 resume los valores ya mencionados en la tabla 19 añadiendo los resultados obtenidos en la simulación última de la combinación de los mejores flujos de los componentes.

**Tabla 22.** Resumen de los resultados de simulación de todas las proporciones a una temperatura de mezcla Metanol-Propanol 80°C; Mezcla con ácido dodecanoico: 120°C.

Metanol	Propanol	Acido dodecanoico	Temperatura calentador 1	Temperatura calentador 2	Inversión	Utilidad	Ahorro energía	% efectividad
	kg/hr		°C	°C	Million USD	Mil USD/Year	cal/sec	%
10	5	10	80	120	1,950.81	37.45	2,178.00	65.19
10	5	20	80	120	1,931.09	37.49	2,162.00	64.53
10	5	5	80	120	1,950.81	37.44	2,189.00	75.97
20	5	10	80	120	1,950.81	38.46	3,949.00	93.34
5	5	10	80	120	1,950.81	36.94	1,279.00	44.52
10	10	10	80	120	1,950.81	37.75	2,620.00	53.72
10	20	10	80	120	1,950.81	38.34	3,532.00	64.00
20	20	5	80	120	1,950.81	39.36	3,553.00	77.11

## 4.2 Simulaciones con las mejores proporciones y variables de temperatura.

### 4.2.1 Selección de resultados y su definición para efectuar simulación.

En el siguiente proceso se hace otra simulación modificando las temperaturas de los calentadores a los que son sometidos los flujos de los componentes, en primer lugar, aumentando 10°C a ambos y efectuando la corrida correspondiente; posteriormente disminuyendo 10°C de los valores originales y de igual forma se realiza la corrida.

De los valores obtenidos en la tabla 22, para hacer la simulación, se tomó en cuenta modificar las temperaturas a los resultados que arrojó la proporción inicial de flujos de componentes, la mejor proporción obtenida en cuanto a ahorro de energía y porcentaje de eficiencia y a la combinación de los mejores flujos de cada uno de los componentes para hacer la corrida con los cambios de temperatura.

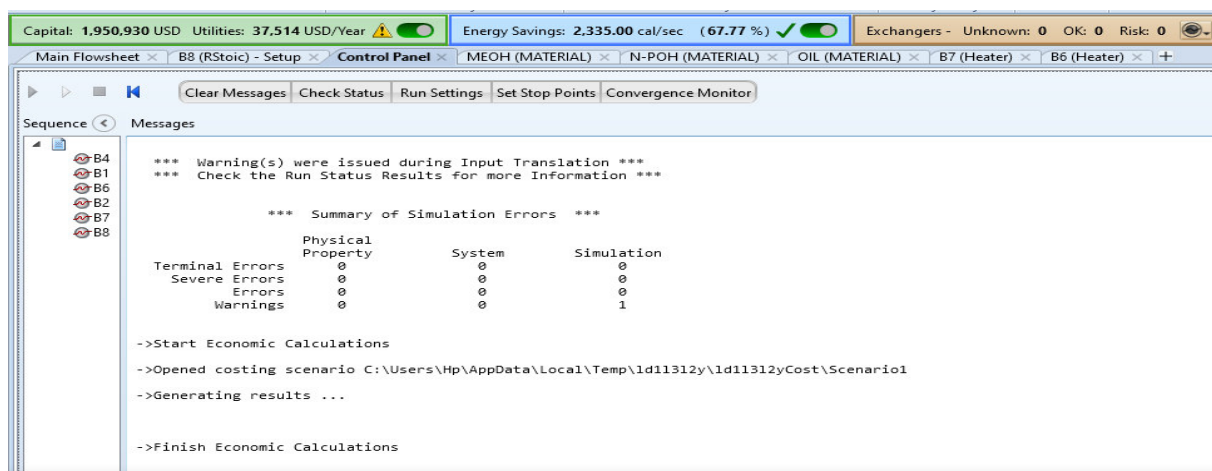
**Tabla 23.** Valores que se toman en cuenta para hacer la simulación con los cambios de temperatura definidos.

Metanol	Propanol	Acido dodecanoico	Temperatura calentador 1	Temperatura calentador 2	Inversión	Utilidad	Ahorro energía	% efectividad
kg/hr			°C		Million USD	Mil USD/Year	cal/sec	%
10	5	10	80	120	1,950.81	37.45	2,178.00	65.19
10	5	20	80	120	1,931.09	37.49	2,162.00	64.53
10	5	5	80	120	1,950.81	37.44	2,189.00	75.97
20	5	10	80	120	1,950.81	38.46	3,949.00	93.34
5	5	10	80	120	1,950.81	36.94	1,279.00	44.52
10	10	10	80	120	1,950.81	37.75	2,620.00	53.72
10	20	10	80	120	1,950.81	38.34	3,532.00	64.00
20	20	5	80	120	1,950.81	39.36	3,553.00	77.11

#### 4.2.2 Proporción 9: Proporción inicial, 10°C más de temperatura vs inicial.

**Tabla 24.** Proporción 9 (proporción inicial realizada) de componentes para la simulación en Aspen Plus® con una temperatura del calentador de la mezcla Metanol-Propanol 90°C y del calentador del ácido dodecanoico: 130°C. (10°C más que la temperatura original)

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	10	Kg/hr
Propanol	5	Kg/hr
Acido Dodecanoico	10	Kg/hr



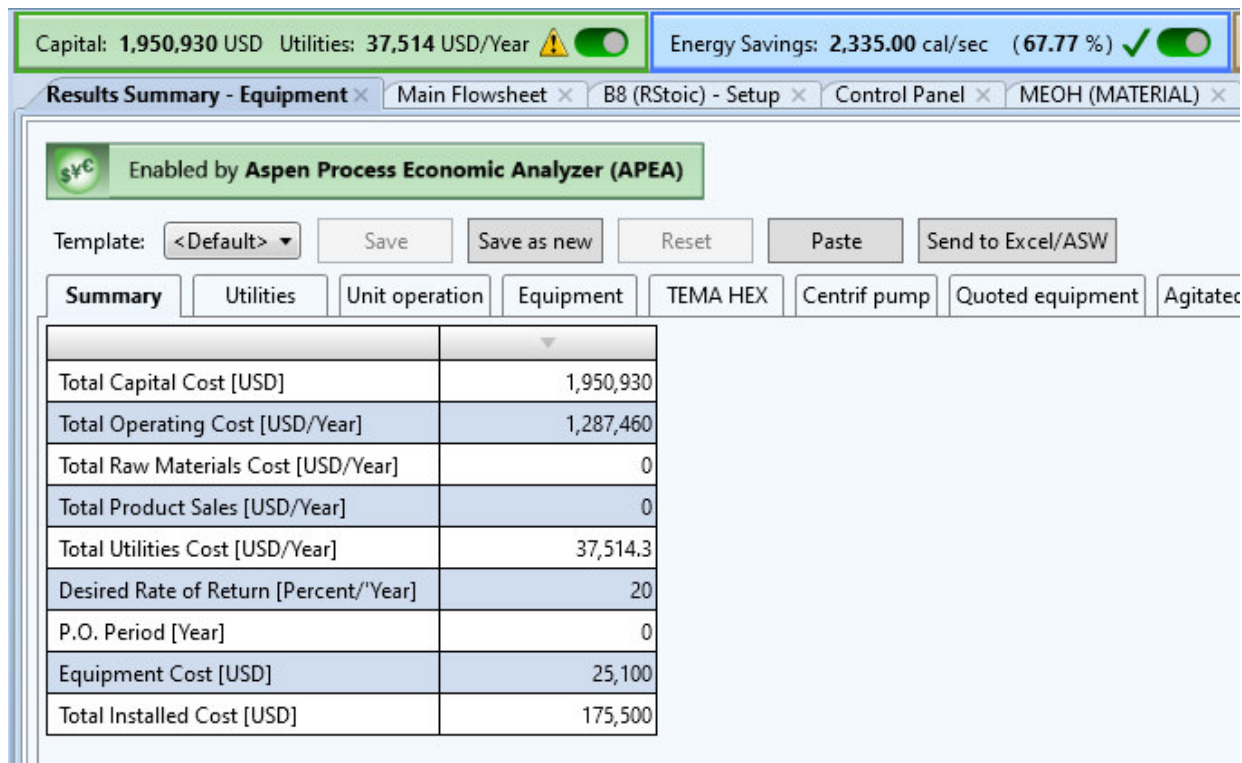
**Figura 82.** Resultado simulación, proporción 9

Esta proporción indicada en la tabla 24 considera una temperatura en el calentador de la mezcla metanol-propanol: 90°C; temperatura del calentador del ácido dodecanoico: 130°C.

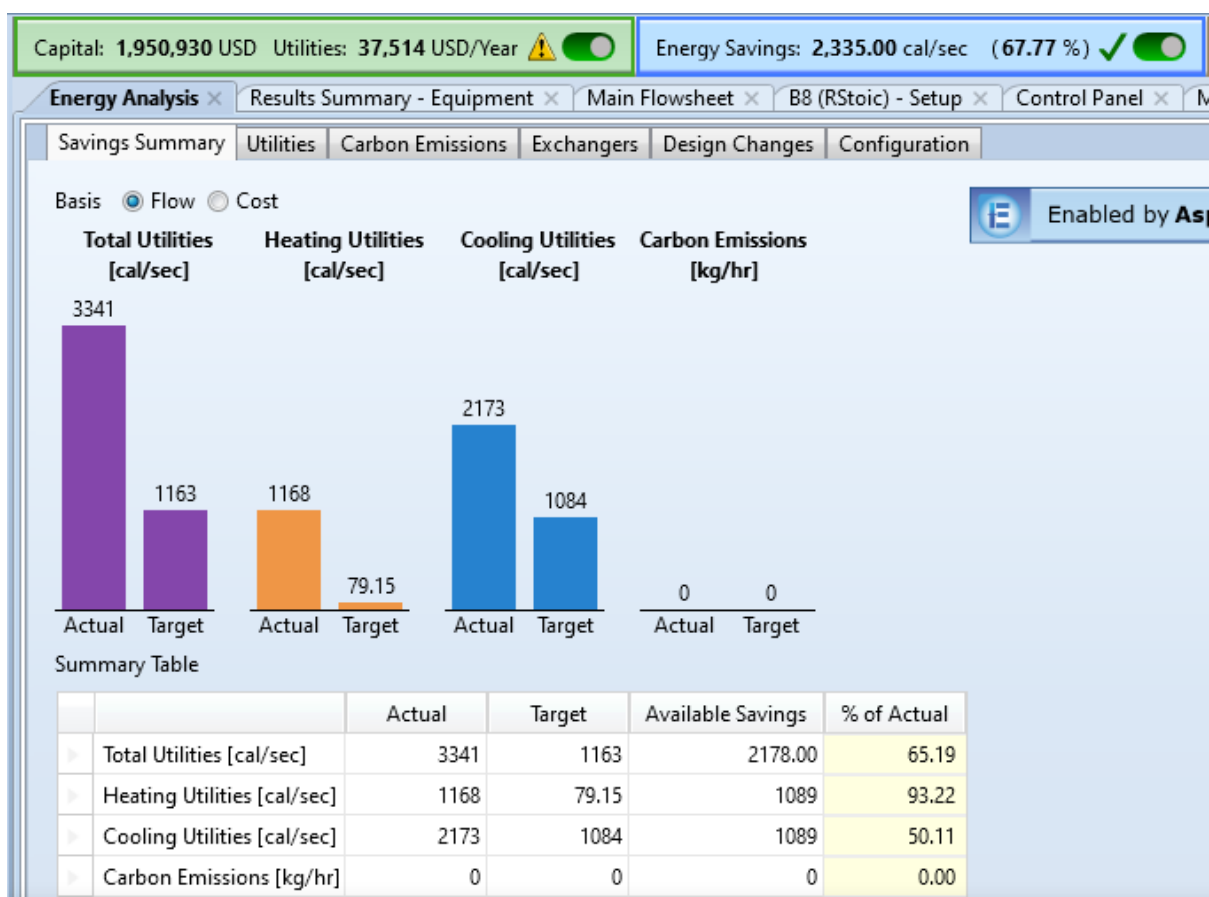
**Tabla 25.** Resultados de los componentes. Proporción 9 (Tabla 24) a una temperatura del calentador con la mezcla de Metanol-Propanol 90°C y el calentador con ácido dodecanoico: 130°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MIXED Substream										
Phase		Liquid Phase	Vapor Phase	Liquid Phase			Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	
Temperature	C	39.94	90.00	70.09	130.00	120.00	25.00	70.00	70.00	109.09
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	1.00	0.00	0.85	0.54	0.00	0.00	0.00	0.80
Molar Liquid Fraction		1.00	0.00	1.00	0.15	0.46	1.00	1.00	1.00	0.20
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	1.00	0.00	0.57	0.27	0.00	0.00	0.00	0.53
Mass Liquid Fraction		1.00	0.00	1.00	0.43	0.73	1.00	1.00	1.00	0.47
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-59771.00	-49820.00	-171642.00	-62445.30	-90751.30	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-63479.50
Mass Enthalpy	cal/gm	-1575.12	-1312.89	-856.83	-1112.05	-1432.48	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1130.46
Molar Entropy	cal/mol-K	-65.60	-37.51	-309.52	-65.16	-87.45	-57.38	-101.33	-309.55	-67.79
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.73	-0.99	-1.55	-1.16	-1.38	-1.79	-1.69	-1.55	-1.21
Molar Density	mol/cc	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
Mass Density	gm/cc	0.79	0.00	0.86	0.00	0.01	0.79	0.75	0.86	0.00
Enthalpy Flow	cal/sec	-6563.01	-5470.36	-2380.09	-7722.56	-9947.93	-4936.28	-1626.73	-2380.22	-7850.45
Average MW		37.95	37.95	200.32	56.15	63.35	32.04	60.10	200.32	56.15
Mole Flows	kmol/hr	0.40	0.40	0.05	0.45	0.39	0.31	0.08	0.05	0.45
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.31	0.31	0.00	0.31	0.26	0.31	0.00	0.00	0.31
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.11	0.05	0.00	0.00	1.00	0.11
METHA-01		0.79	0.79	0.00	0.70	0.65	1.00	0.00	0.00	0.70
1-PRO-01		0.21	0.21	0.00	0.19	0.00	0.00	1.00	0.00	0.19
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows										
N-DOD-01	kg/hr	15.00	15.00	10.00	25.00	25.00	10.00	5.00	10.00	25.00
METHA-01	kg/hr	10.00	10.00	0.00	10.00	8.17	10.00	0.00	0.00	10.00
1-PRO-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.40	0.17	0.00	0.00	1.00	0.40
METHA-01		0.67	0.67	0.00	0.40	0.33	1.00	0.00	0.00	0.40
1-PRO-01		0.33	0.33	0.00	0.20	0.00	0.00	1.00	0.00	0.20
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow										
N-DOD-01	l/min	0.32	132.61	0.19	141.67	77.40	0.21	0.11	0.19	125.95
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol		-49820.00		-49196.00	-46925.10				-49294.60
Mass Enthalpy	cal/gm		-1312.89		-1300.72	-1463.97				-1319.79
Molar Entropy	cal/mol-K		-37.51		-35.78	-28.61				-35.93
Mass Entropy	cal/gm-K		-0.99		-0.95	-0.89				-0.96
Molar Density	mol/cc		0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Density	gm/cc		0.00		0.00	0.00				0.00
Enthalpy Flow	cal/sec		-5470.36		-5189.95	-2765.08				-4874.56
Average MW			37.95		37.82	32.05				37.35
Mole Flows	kmol/hr		0.40		0.38	0.21				0.36
N-DOD-01	kmol/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01	kmol/hr		0.31		0.30	0.21				0.29
1-PRO-01	kmol/hr		0.08		0.08	0.00				0.07
1:2:3-01	kmol/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01			0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01			0.79		0.80	1.00				0.81
1-PRO-01			0.21		0.20	0.00				0.19
1:2:3-01			0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Flows										
N-DOD-01	kg/hr		15.00		14.36	6.80				13.30
METHA-01	kg/hr		10.00		9.70	6.80				9.26
1-PRO-01	kg/hr		5.00		4.61	0.00				4.03
1:2:3-01	kg/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01			0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01			0.67		0.68	1.00				0.70
1-PRO-01			0.33		0.32	0.00				0.30
1:2:3-01			0.00		0.00	0.00				0.00
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-59771.00		-171642.00	-139355.00	-141695.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-120079.00
Mass Enthalpy	cal/gm	-1575.12		-856.83	-857.24	-1420.72	-1777.06	-1171.25	-856.88	-915.38
Molar Entropy	cal/mol-K	-65.60		-309.52	-235.67	-155.86	-57.38	-101.33	-309.55	-194.92
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.73		-1.55	-1.45	-1.56	-1.79	-1.69	-1.55	-1.49
Molar Density	mol/cc	0.02		0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.79		0.86	0.80	0.85	0.79	0.75	0.86	0.80
Enthalpy Flow	cal/sec	-6563.01		-2380.09	-2532.62	-7182.85	-4936.28	-1626.73	-2380.22	-2975.89
Average MW		37.95		200.32	162.56	99.73	32.04	60.10	200.32	131.18
Mole Flows	kmol/hr	0.40		0.05	0.07	0.18	0.31	0.08	0.05	0.09
N-DOD-01	kmol/hr	0.00		0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.31		0.00	0.01	0.04	0.31	0.00	0.00	0.02
1-PRO-01	kmol/hr	0.08		0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	0.02
1:2:3-01	kmol/hr	0.00		0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00		1.00	0.76	0.12	0.00	0.00	1.00	0.56
METHA-01		0.79		0.00	0.14	0.24	1.00	0.00	0.00	0.26
1-PRO-01		0.21		0.00	0.10	0.00	0.00	1.00	0.00	0.18
1:2:3-01		0.00		0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows										
N-DOD-01	kg/hr	15.00		10.00	10.64	18.20	10.00	5.00	10.00	11.70
METHA-01	kg/hr	10.00		10.00	9.95	4.28	10.00	0.00	10.00	9.99
1-PRO-01	kg/hr	5.00		0.00	0.39	0.00	0.00	5.00	0.00	0.97
1:2:3-01	kg/hr	0.00		0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00		1.00	0.94	0.24	0.00	0.00	1.00	0.85
METHA-01		0.67		0.00	0.03	0.08	1.00	0.00	0.00	0.06
1-PRO-01		0.33		0.00	0.04	0.00	0.00	1.00	0.00	0.08
1:2:3-01		0.00		0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 9 con el aumento de temperatura de los calentadores 10°C por arriba de los iniciales, arroja un costo de producción de 1,950,930 USD, con una utilidad de 37,514 USD/Year (figura 83), un ahorro de energía por año de 2,335 cal/sec y una eficiencia del proceso del 67.77% (figura 84).



**Figura 83.** Costo para la proporción 9 de inversión de capital y utilidad anual en USD.

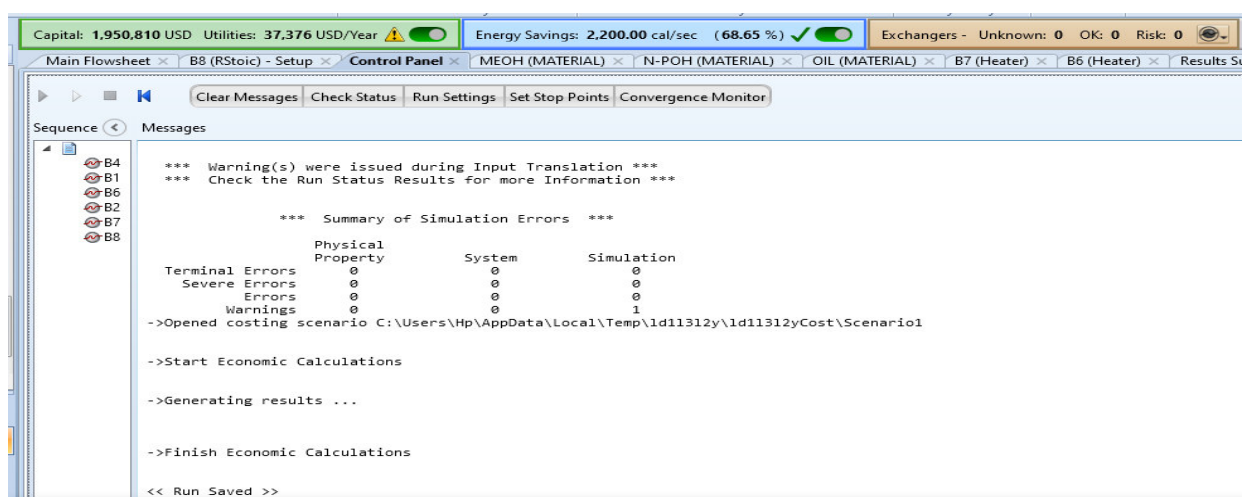


**Figura 84.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 9.

### 4.2.3 Proporción 10: Proporción inicial, 10°C menos de temperatura vs inicial.

**Tabla 26.** Proporción 10 (proporción inicial realizada) de componentes para la simulación en Aspen Plus® con una temperatura del calentador de la mezcla Metanol-Propanol 70°C y del calentador del ácido dodecanoico: 110°C. (10°C menos que la temperatura original)

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	10	Kg/hr
Propanol	5	Kg/hr
Acido Dodecanoico	10	Kg/hr



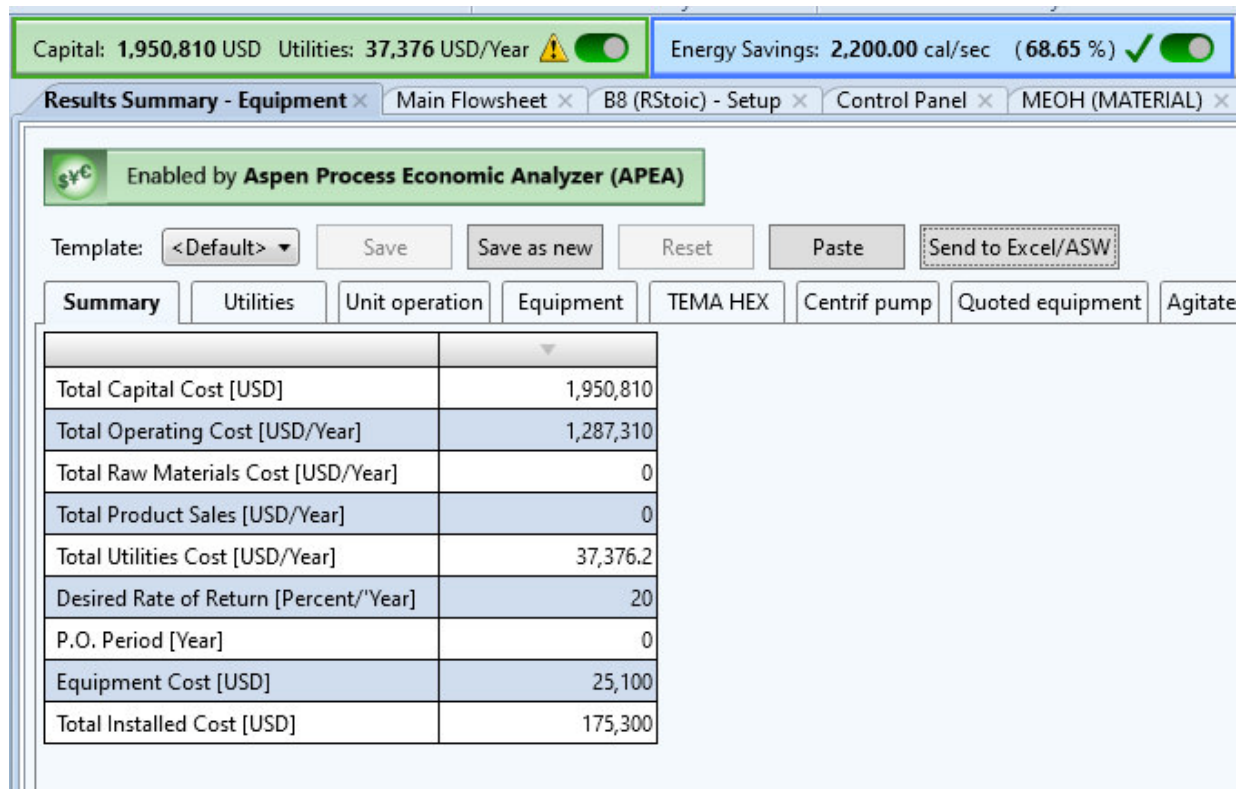
**Figura 85.** Resultado simulación, proporción 10

Esta proporción indicada en la tabla 26 considera una temperatura en el calentador de la mezcla metanol-propanol: 70°C; temperatura del calentador del ácido dodecanoico: 110°C.

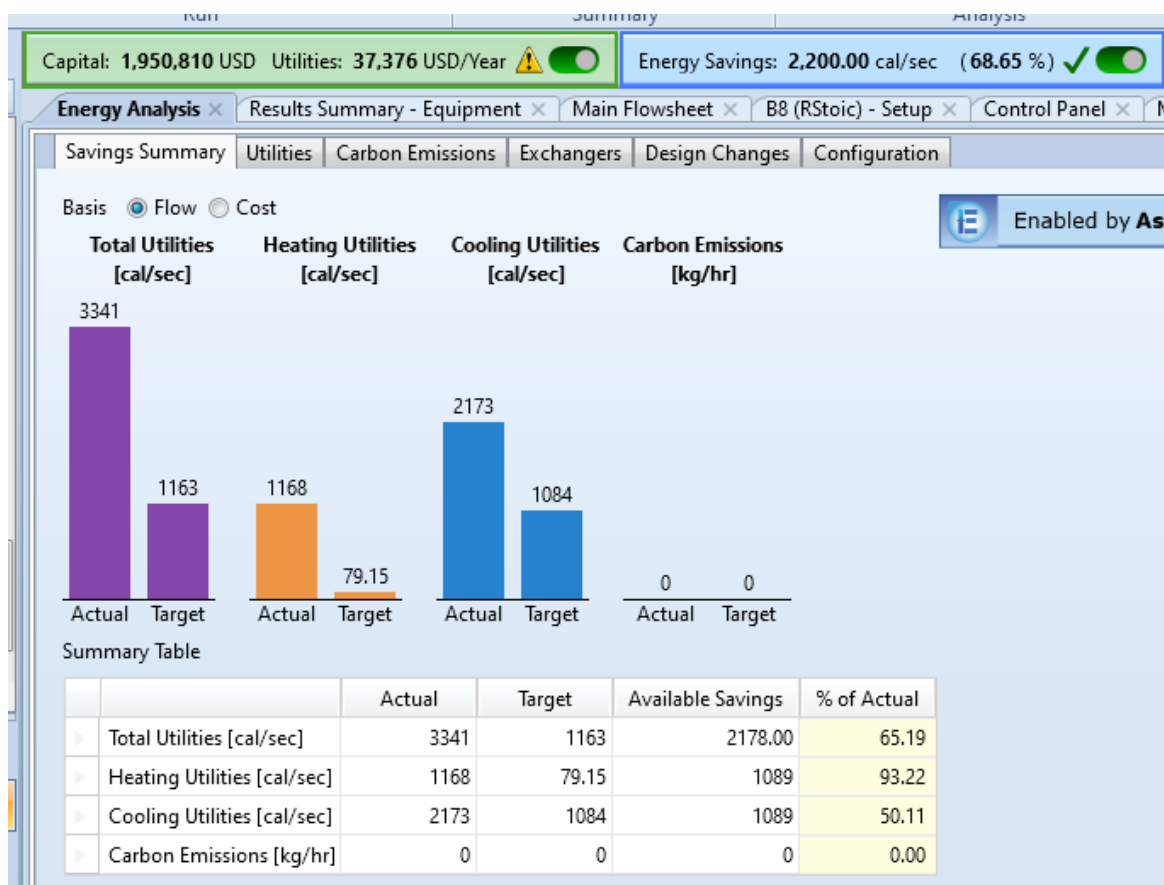
**Tabla 27.** Resultados de los componentes. Proporción 10 (Tabla 26) a una temperatura del calentador con la mezcla de Metanol-Propanol 70°C y el calentador con ácido dodecanoico: 110°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MIXED Substream										
Phase		Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase			Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase
Temperature	C	39.94	70.00	70.09	110.00	120.00	25.00	70.00	70.00	70.04
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.80	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.20	0.46	1.00	1.00	1.00	1.00
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.54	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.46	0.73	1.00	1.00	1.00	1.00
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-59771.00	-58901.10	-171642.00	-63418.30	-90751.30	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-71542.30
Mass Enthalpy	cal/gm	-1575.12	-1552.20	-856.83	-1129.38	-1432.48	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1274.05
Molar Entropy	cal/mol-K	-65.60	-63.04	-309.52	-67.63	-87.45	-57.38	-101.33	-309.55	-89.98
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.73	-1.66	-1.55	-1.20	-1.38	-1.79	-1.69	-1.55	-1.60
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.79	0.75	0.86	0.80	0.01	0.79	0.75	0.86	0.79
Enthalpy Flow	cal/sec	-6563.01	-6467.49	-2380.09	-7842.89	-9947.93	-4936.28	-1626.73	-2380.22	-8847.58
Average MW		37.95	37.95	200.32	56.15	63.35	32.04	60.10	200.32	56.15
Mole Flows	kmol/hr	0.40	0.40	0.05	0.45	0.39	0.31	0.08	0.05	0.45
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.31	0.31	0.00	0.31	0.26	0.31	0.00	0.00	0.31
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.11	0.05	0.00	0.00	1.00	0.11
METHA-01		0.79	0.79	0.00	0.70	0.65	1.00	0.00	0.00	0.70
1-PRO-01		0.21	0.21	0.00	0.19	0.00	0.00	1.00	0.00	0.19
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	15.00	15.00	10.00	25.00	25.00	10.00	5.00	10.00	25.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	10.00	4.29	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	10.00	10.00	0.00	10.00	8.17	10.00	0.00	0.00	10.00
1-PRO-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.40	0.17	0.00	0.00	1.00	0.40
METHA-01		0.67	0.67	0.00	0.40	0.33	1.00	0.00	0.00	0.40
1-PRO-01		0.33	0.33	0.00	0.20	0.00	0.00	1.00	0.00	0.20
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow	l/min	0.32	0.33	0.19	126.91	77.40	0.21	0.11	0.19	0.53
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol				-49295.20	-46925.10				
Mass Enthalpy	cal/gm				-1318.67	-1463.97				
Molar Entropy	cal/mol-K				-35.94	-28.61				
Mass Entropy	cal/gm-K				-0.96	-0.89				
Molar Density	mol/cc				0.00	0.00				
Mass Density	gm/cc				0.00	0.00				
Enthalpy Flow	cal/sec				-4900.15	-2765.08				
Average MW					37.38	32.05				
Mole Flows	kmol/hr				0.36	0.21				
N-DOD-01	kmol/hr				0.00	0.00				
METHA-01	kmol/hr				0.29	0.21				
1-PRO-01	kmol/hr				0.07	0.00				
1:2:3-01	kmol/hr				0.00	0.00				
Mole Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.81	1.00				
1-PRO-01					0.19	0.00				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Mass Flows	kg/hr				13.38	6.80				
N-DOD-01	kg/hr				0.01	0.00				
METHA-01	kg/hr				9.29	6.80				
1-PRO-01	kg/hr				4.08	0.00				
1:2:3-01	kg/hr				0.00	0.00				
Mass Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.69	1.00				
1-PRO-01					0.30	0.00				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-59771.00	-58901.10	-171642.00	-121275.00	-141695.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-71542.30
Mass Enthalpy	cal/gm	-1575.12	-1552.20	-856.83	-911.50	-1420.72	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1274.05
Molar Entropy	cal/mol-K	-65.60	-63.04	-309.52	-197.46	-155.86	-57.38	-101.33	-309.55	-89.98
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.73	-1.66	-1.55	-1.48	-1.56	-1.79	-1.69	-1.55	-1.60
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.79	0.75	0.86	0.80	0.85	0.79	0.75	0.86	0.79
Enthalpy Flow	cal/sec	-6563.01	-6467.49	-2380.09	-2942.74	-7182.85	-4936.28	-1626.73	-2380.22	-8847.58
Average MW		37.95	37.95	200.32	133.05	99.73	32.04	60.10	200.32	56.15
Mole Flows	kmol/hr	0.40	0.40	0.05	0.09	0.18	0.31	0.08	0.05	0.45
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.31	0.31	0.00	0.02	0.04	0.31	0.00	0.00	0.31
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.57	0.12	0.00	0.00	1.00	0.11
METHA-01		0.79	0.79	0.00	0.25	0.24	1.00	0.00	0.00	0.70
1-PRO-01		0.21	0.21	0.00	0.18	0.00	0.00	1.00	0.00	0.19
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	15.00	15.00	10.00	11.62	18.20	10.00	5.00	10.00	25.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	9.99	4.28	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	10.00	10.00	0.00	0.71	1.38	10.00	0.00	0.00	10.00
1-PRO-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	0.92	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.86	0.24	0.00	0.00	1.00	0.40
METHA-01		0.67	0.67	0.00	0.06	0.08	1.00	0.00	0.00	0.40
1-PRO-01		0.33	0.33	0.00	0.08	0.00	0.00	1.00	0.00	0.20
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 10 con la disminución de temperatura de los calentadores 10°C por debajo de los iniciales, arroja un costo de producción de 1,950,810 USD, con una utilidad de 37,376 USD/Year (figura 86), un ahorro de energía por año de 2,200 cal/sec y una eficiencia del proceso del 68.65% (figura 87).



**Figura 86.** Costo para la proporción 10 de inversión de capital y utilidad anual en USD.

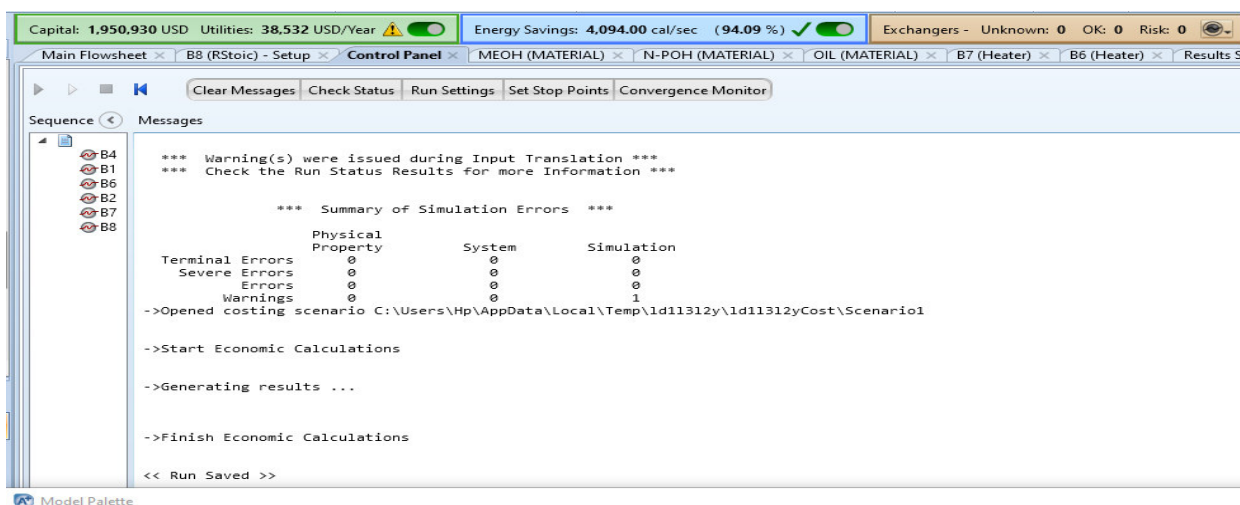


**Figura 87.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 10.

#### 4.2.4 Proporción 11: Mejor proporción del proceso de simulación, 10°C más de temperatura vs inicial.

**Tabla 28.** Proporción 11 (mejor proporción arrojada en el proceso en cuanto a porcentaje de eficiencia y ahorro de energía) de componentes para la simulación en Aspen Plus® con una temperatura del calentador de la mezcla Metanol-Propanol 90°C y del calentador del ácido dodecanoico: 130°C. (10°C más que la temperatura original)

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	20	Kg/hr
Propanol	5	Kg/hr
Acido Dodecanoico	10	Kg/hr



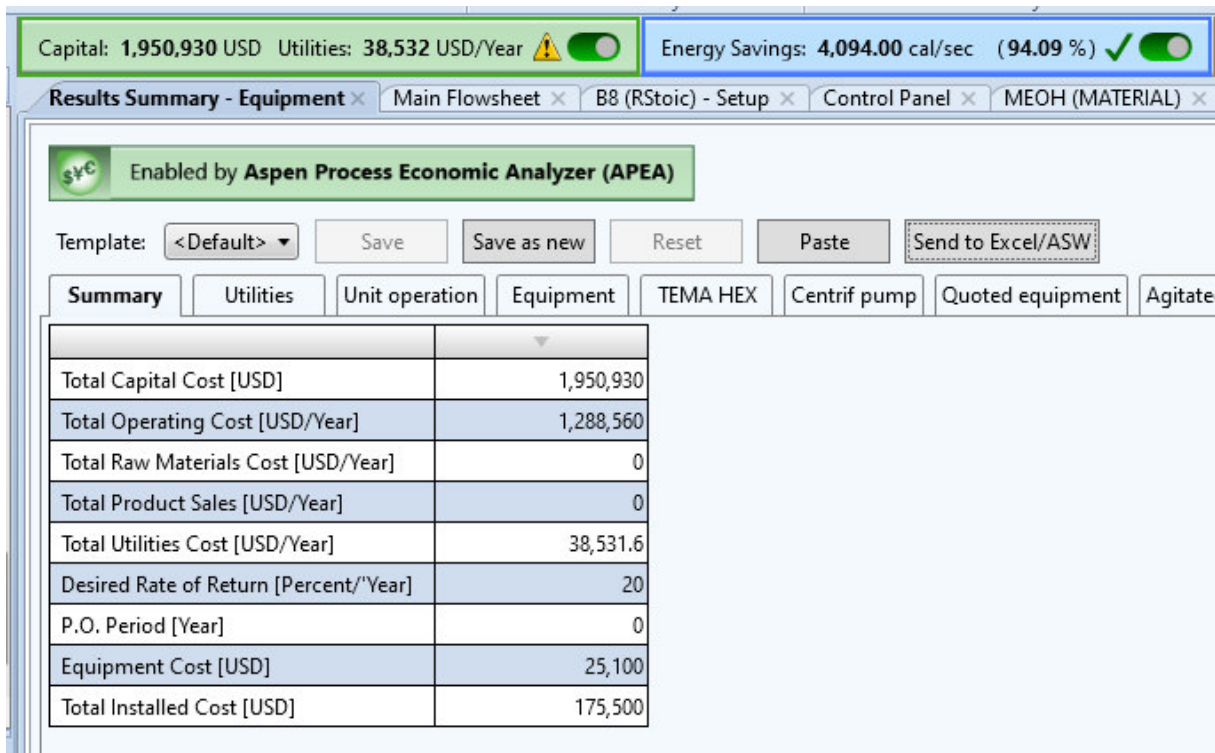
**Figura 88.** Resultado simulación, proporción 11

Esta proporción indicada en la tabla 28 considera una temperatura en el calentador de la mezcla metanol-propanol: 90°C; temperatura del calentador del ácido dodecanoico: 130°C.

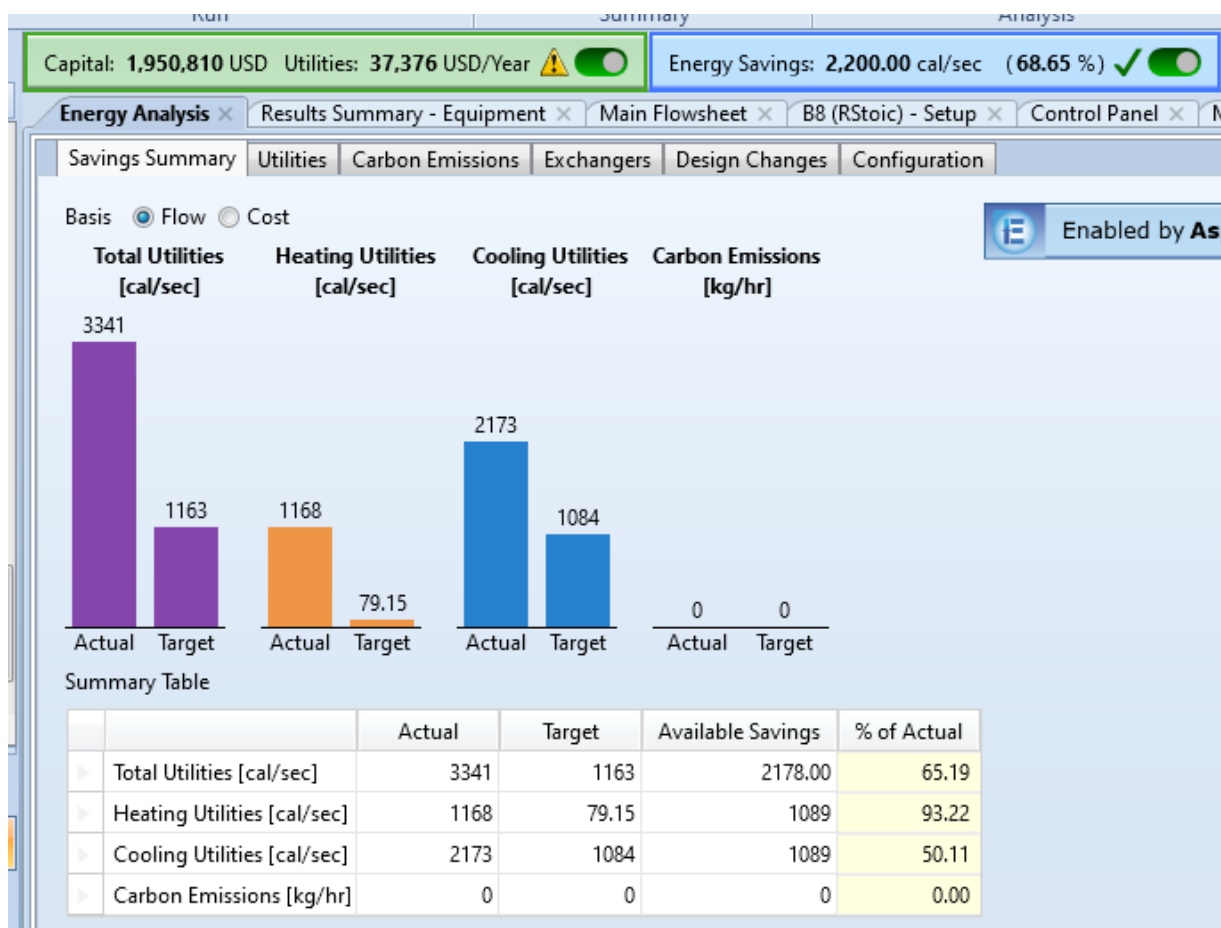
**Tabla 29.** Resultados de los componentes. Proporción 11 (Tabla 28) a una temperatura del calentador con la mezcla de Metanol-Propanol 90°C y el calentador con ácido dodecanoico: 130°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MIXED Substream										
Phase		Liquid Phase	Vapor Phase	Liquid Phase			Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	
Temperature	C	34.02	90.00	70.09	130.00	120.00	25.00	70.00	70.00	104.67
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	1.00	0.00	0.92	0.74	0.00	0.00	0.00	0.88
Molar Liquid Fraction		1.00	0.00	1.00	0.08	0.26	1.00	1.00	1.00	0.12
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	1.00	0.00	0.70	0.48	0.00	0.00	0.00	0.67
Mass Liquid Fraction		1.00	0.00	1.00	0.30	0.52	1.00	1.00	1.00	0.33
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-58522.40	-48697.10	-171642.00	-55960.30	-71392.80	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-56801.40
Mass Enthalpy	cal/gm	-1655.90	-1377.89	-856.83	-1210.82	-1441.53	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1229.02
Molar Entropy	cal/mol-K	-61.82	-33.85	-309.52	-49.74	-61.46	-57.38	-101.33	-309.55	-51.90
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.75	-0.96	-1.55	-1.08	-1.24	-1.79	-1.69	-1.55	-1.12
Molar Density	mol/cc	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
Mass Density	gm/cc	0.79	0.00	0.86	0.00	0.00	0.79	0.75	0.86	0.00
Enthalpy Flow	cal/sec	-11499.30	-9568.68	-2380.09	-11771.80	-14015.00	-9872.55	-1626.73	-2380.22	-11948.80
Average MW		35.34	35.34	200.32	46.22	49.53	32.04	60.10	200.32	46.22
Mole Flows	kmol/hr	0.71	0.71	0.05	0.76	0.71	0.62	0.08	0.05	0.76
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.62	0.62	0.00	0.62	0.57	0.62	0.00	0.00	0.62
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.07	0.03	0.00	0.00	1.00	0.07
METHA-01		0.88	0.88	0.00	0.82	0.80	1.00	0.00	0.00	0.82
1-PRO-01		0.12	0.12	0.00	0.11	0.00	0.00	1.00	0.00	0.11
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	25.00	25.00	10.00	35.00	35.00	20.00	5.00	10.00	35.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	10.00	4.29	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	20.00	18.17	20.00	0.00	0.00	20.00
1-PRO-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.29	0.12	0.00	0.00	1.00	0.29
METHA-01		0.80	0.80	0.00	0.57	0.52	1.00	0.00	0.00	0.57
1-PRO-01		0.20	0.20	0.00	0.14	0.00	0.00	1.00	0.00	0.14
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow	l/min	0.53	237.31	0.19	258.83	190.76	0.42	0.11	0.19	233.00
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol		-48697.10		-48187.30	-46925.10				-48400.60
Mass Enthalpy	cal/gm		-1377.89		-1362.19	-1463.97				-1379.08
Molar Entropy	cal/mol-K		-33.85		-32.47	-28.61				-32.99
Mass Entropy	cal/gm-K		-0.96		-0.92	-0.89				-0.94
Molar Density	mol/cc		0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Density	gm/cc		0.00		0.00	0.00				0.00
Enthalpy Flow	cal/sec		-9568.68		-9294.50	-6833.53				-8965.94
Average MW			35.34		35.37	32.05				35.10
Mole Flows	kmol/hr		0.71		0.69	0.52				0.67
N-DOD-01	kmol/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01	kmol/hr		0.62		0.61	0.52				0.59
1-PRO-01	kmol/hr		0.08		0.08	0.00				0.07
1:2:3-01	kmol/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01			0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01			0.88		0.88	1.00				0.89
1-PRO-01			0.12		0.11	0.00				0.11
1:2:3-01			0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Flows	kg/hr		25.00		24.56	16.80				23.41
N-DOD-01	kg/hr		0.00		0.09	0.01				0.01
METHA-01	kg/hr		20.00		19.68	16.80				19.05
1-PRO-01	kg/hr		5.00		4.79	0.00				4.34
1:2:3-01	kg/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01			0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01			0.80		0.80	1.00				0.81
1-PRO-01			0.20		0.19	0.00				0.19
1:2:3-01			0.00		0.00	0.00				0.00
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-58522.40		-171642.00	-141743.00	-141695.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-118762.00
Mass Enthalpy	cal/gm	-1655.90		-856.83	-854.54	-1420.81	-1777.06	-1171.25	-856.88	-926.11
Molar Entropy	cal/mol-K	-61.82		-309.52	-240.40	-155.85	-57.38	-101.33	-309.55	-191.38
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.75		-1.55	-1.45	-1.56	-1.79	-1.69	-1.55	-1.49
Molar Density	mol/cc	0.02		0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.79		0.86	0.80	0.85	0.79	0.75	0.86	0.81
Enthalpy Flow	cal/sec	-11499.30		-2380.09	-2477.34	-7181.51	-9872.55	-1626.73	-2380.22	-2982.83
Average MW		35.34		200.32	165.87	99.73	32.04	60.10	200.32	128.24
Mole Flows	kmol/hr	0.71		0.05	0.06	0.18	0.62	0.08	0.05	0.09
N-DOD-01	kmol/hr	0.00		0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.62		0.00	0.01	0.04	0.62	0.00	0.00	0.03
1-PRO-01	kmol/hr	0.08		0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.01
1:2:3-01	kmol/hr	0.00		0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00		1.00	0.79	0.12	0.00	0.00	1.00	0.55
METHA-01		0.88		0.00	0.16	0.24	1.00	0.00	0.00	0.33
1-PRO-01		0.12		0.00	0.06	0.00	0.00	1.00	0.00	0.12
1:2:3-01		0.00		0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	25.00		10.00	10.44	18.20	20.00	5.00	10.00	11.60
N-DOD-01	kg/hr	0.00		10.00	9.91	4.28	0.00	0.00	10.00	9.99
METHA-01	kg/hr	20.00		0.00	0.32	1.38	20.00	0.00	0.00	0.95
1-PRO-01	kg/hr	5.00		0.00	0.21	0.00	0.00	5.00	0.00	0.66
1:2:3-01	kg/hr	0.00		0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00		1.00	0.95	0.24	0.00	0.00	1.00	0.86
METHA-01		0.80		0.00	0.03	0.08	1.00	0.00	0.00	0.08
1-PRO-01		0.20		0.00	0.02	0.00	0.00	1.00	0.00	0.06
1:2:3-01		0.00		0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 11 con el aumento de temperatura de los calentadores 10°C por encima de los iniciales, arroja un costo de producción de 1,950,930 USD, con una utilidad de 38,532 USD/Year (figura 89), un ahorro de energía por año de 4,094 cal/sec y una eficiencia del proceso del 94.09% (figura 90).



**Figura 89.** Costo para la proporción 11 de inversión de capital y utilidad anual en USD.

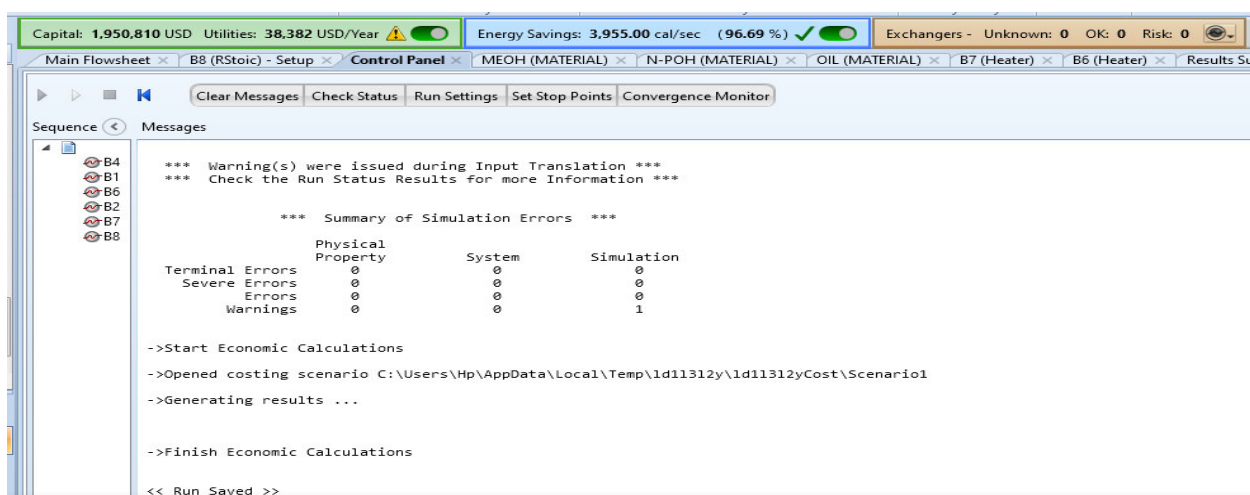


**Figura 90.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 11.

#### 4.2.5 Proporción 12: Mejor proporción del proceso de simulación, 10°C menos de temperatura vs inicial.

**Tabla 30.** Proporción 12 (mejor resultado de la proporción arrojada en el proceso en cuanto a porcentaje de eficiencia y ahorro de energía) de componentes para la simulación en Aspen Plus® con una temperatura del calentador de la mezcla Metanol-Propanol 70°C y del calentador del ácido dodecanoico: 110°C. (10°C menos que la temperatura original)

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	20	Kg/hr
Propanol	5	Kg/hr
Acido Dodecanoico	10	Kg/hr



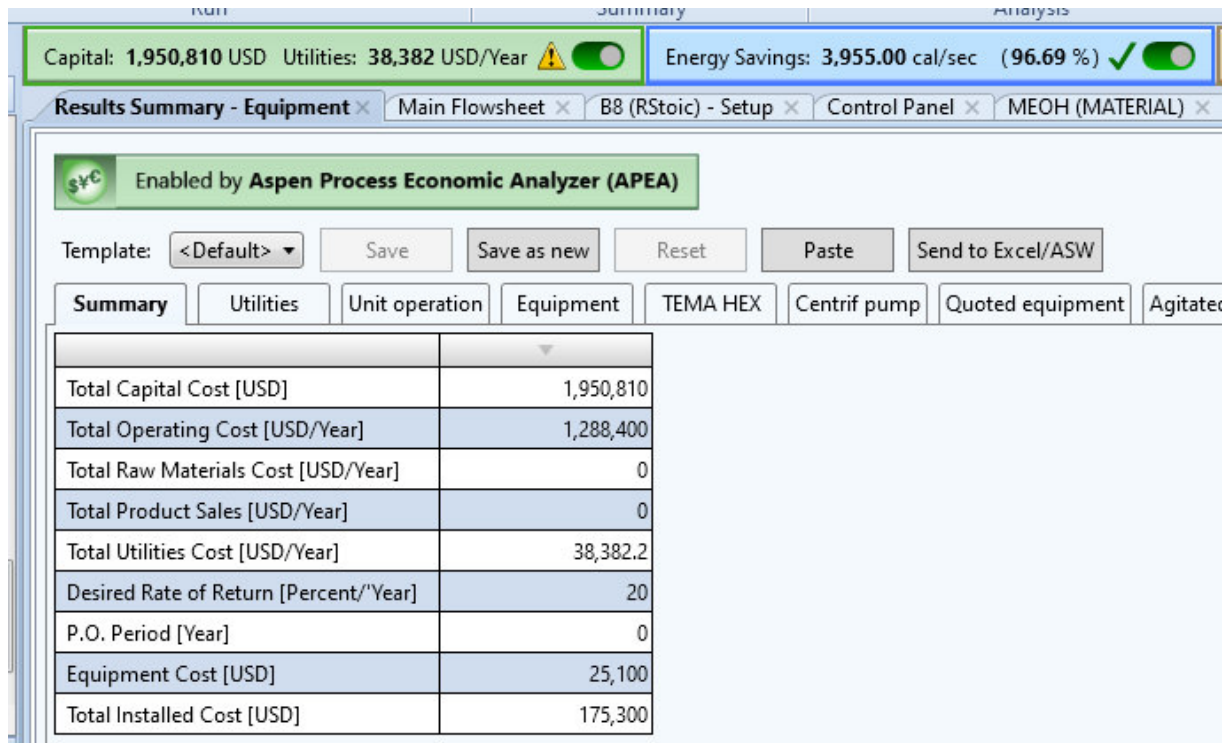
**Figura 91.** Resultado simulación, proporción 12

Esta proporción indicada en la tabla 30 considera una temperatura en el calentador de la mezcla metanol-propanol: 70°C; temperatura del calentador del ácido dodecanoico: 110°C.

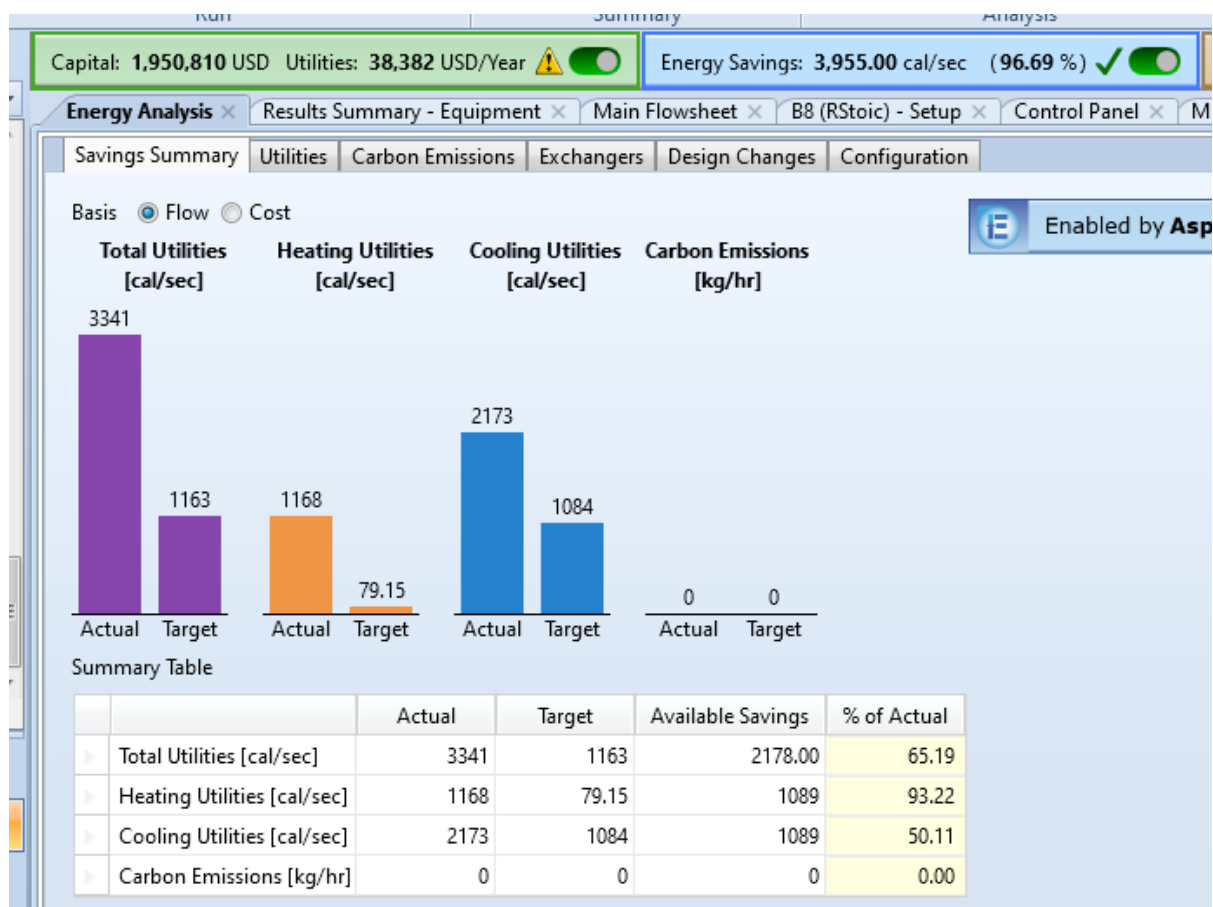
**Tabla 31.** Resultados de los componentes. Proporción 12 (Tabla 30) a una temperatura del calentador con la mezcla de Metanol-Propanol 70°C y el calentador con ácido dodecanoico: 110°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MXED Substream										
Phase		Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase			Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase
Temperature	C	34.02	70.00	70.09	110.00	120.00	25.00	70.00	70.00	70.02
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.89	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.11	0.26	1.00	1.00	1.00	1.00
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.68	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.32	0.52	1.00	1.00	1.00	1.00
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-58522.40	-57551.80	-171642.00	-56579.30	-71392.80	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-65072.40
Mass Enthalpy	cal/gm	-1655.90	-1628.43	-856.83	-1224.21	-1441.53	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1407.98
Molar Entropy	cal/mol-K	-61.82	-58.96	-309.52	-51.31	-61.46	-57.38	-101.33	-309.55	-75.00
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.75	-1.67	-1.55	-1.11	-1.24	-1.79	-1.69	-1.55	-1.62
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02
Mass Density	gm/cc	0.79	0.75	0.86	0.86	0.85	0.79	0.75	0.86	0.77
Enthalpy Flow	cal/sec	-11499.30	-11308.60	-2380.09	-11902.00	-14015.00	-9872.55	-1626.73	-2380.22	-13688.70
Average MW		35.34	35.34	200.32	46.22	49.53	32.04	60.10	200.32	46.22
Mole Flows	kmol/hr	0.71	0.71	0.05	0.76	0.71	0.62	0.08	0.05	0.76
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.62	0.62	0.00	0.62	0.57	0.62	0.00	0.00	0.62
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.07	0.03	0.00	0.00	1.00	0.07
METHA-01		0.88	0.88	0.00	0.82	0.80	1.00	0.00	0.00	0.82
1-PRO-01		0.12	0.12	0.00	0.11	0.00	0.00	1.00	0.00	0.11
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	25.00	25.00	10.00	35.00	35.00	20.00	5.00	10.00	35.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	10.00	4.29	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	20.00	18.17	20.00	0.00	0.00	20.00
1-PRO-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.29	0.12	0.00	0.00	1.00	0.29
METHA-01		0.80	0.80	0.00	0.57	0.52	1.00	0.00	0.00	0.57
1-PRO-01		0.20	0.20	0.00	0.14	0.00	0.00	1.00	0.00	0.14
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow	l/min	0.53	0.56	0.19	239.79	190.76	0.42	0.11	0.19	0.76
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol				-48362.70	-46925.10				
Mass Enthalpy	cal/gm				-1375.04	-1463.97				
Molar Entropy	cal/mol-K				-32.90	-28.61				
Mass Entropy	cal/gm-K				-0.94	-0.89				
Molar Density	mol/cc				0.00	0.00				
Mass Density	gm/cc				0.00	0.00				
Enthalpy Flow	cal/sec				-9092.37	-6833.53				
Average MW					35.17	32.05				
Mole Flows	kmol/hr				0.68	0.52				
N-DOD-01	kmol/hr				0.00	0.00				
METHA-01	kmol/hr				0.60	0.52				
1-PRO-01	kmol/hr				0.07	0.00				
1:2:3-01	kmol/hr				0.00	0.00				
Mole Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.89	1.00				
1-PRO-01					0.11	0.00				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Mass Flows	kg/hr				23.80	16.80				
N-DOD-01	kg/hr				0.02	0.01				
METHA-01	kg/hr				19.28	16.80				
1-PRO-01	kg/hr				4.50	0.00				
1:2:3-01	kg/hr				0.00	0.00				
Mass Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.81	1.00				
1-PRO-01					0.19	0.00				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-58522.40	-57551.80	-171642.00	-125674.00	-141695.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-65072.40
Mass Enthalpy	cal/gm	-1655.90	-1628.43	-856.83	-903.50	-1420.81	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1407.98
Molar Entropy	cal/mol-K	-61.82	-58.96	-309.52	-206.17	-155.85	-57.38	-101.33	-309.55	-75.00
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.75	-1.67	-1.55	-1.48	-1.56	-1.79	-1.69	-1.55	-1.62
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.02
Mass Density	gm/cc	0.79	0.75	0.86	0.81	0.85	0.79	0.75	0.86	0.77
Enthalpy Flow	cal/sec	-11499.30	-11308.60	-2380.09	-2809.68	-7181.51	-9872.55	-1626.73	-2380.22	-13688.70
Average MW		35.34	35.34	200.32	139.10	99.73	32.04	60.10	200.32	46.22
Mole Flows	kmol/hr	0.71	0.71	0.05	0.08	0.18	0.62	0.08	0.05	0.76
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
METHA-01	kmol/hr	0.62	0.62	0.00	0.02	0.04	0.62	0.00	0.00	0.62
1-PRO-01	kmol/hr	0.08	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.62	0.12	0.00	0.00	1.00	0.07
METHA-01		0.88	0.88	0.00	0.28	0.24	1.00	0.00	0.00	0.82
1-PRO-01		0.12	0.12	0.00	0.10	0.00	0.00	1.00	0.00	0.11
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	25.00	25.00	10.00	11.20	18.20	20.00	5.00	10.00	35.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	10.00	9.98	4.28	0.00	0.00	10.00	10.00
METHA-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	0.72	1.38	20.00	0.00	0.00	20.00
1-PRO-01	kg/hr	5.00	5.00	0.00	0.50	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.89	0.24	0.00	0.00	1.00	0.29
METHA-01		0.80	0.80	0.00	0.06	0.08	1.00	0.00	0.00	0.57
1-PRO-01		0.20	0.20	0.00	0.04	0.00	0.00	1.00	0.00	0.14
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 12 con la disminución de temperatura de los calentadores 10°C por debajo de los iniciales, arroja un costo de producción de 1,950,810 USD, con una utilidad de 38,382 USD/Year (figura 92), un ahorro de energía por año de 3955 cal/sec y una eficiencia del proceso del 96.69% (figura 93).



**Figura 92.** Costo para la proporción 12 de inversión de capital y utilidad anual en USD.

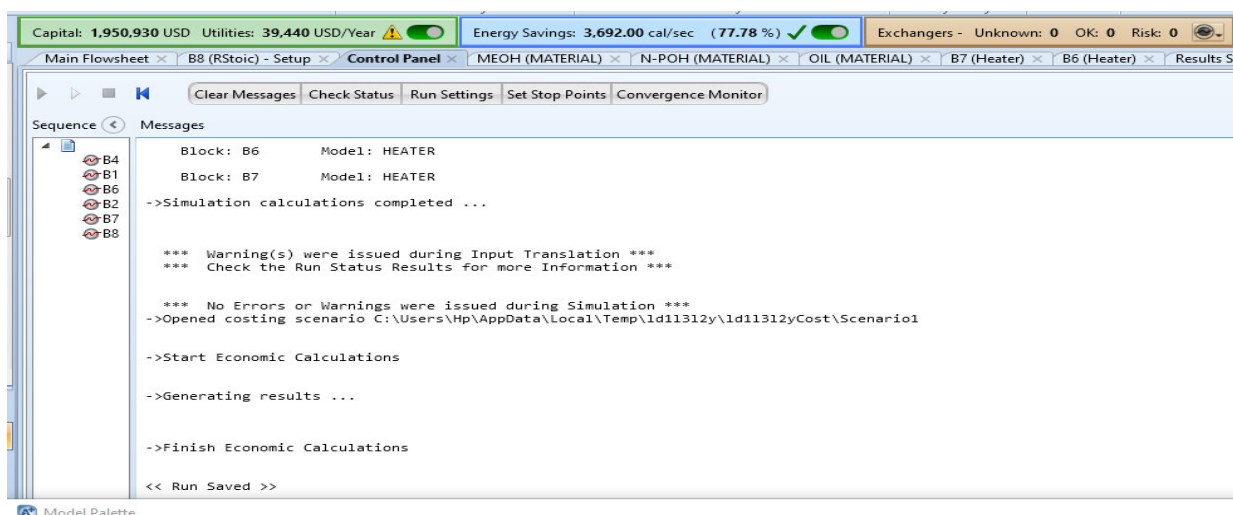


**Figura 93.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 12.

#### 4.2.6 Proporción 13: Mejores promedios de componentes de la proporción del proceso de simulación, 10°C más de temperatura vs inicial.

Tabla 32 Proporción 13 (combinación de los mejores promedios por cada componente arrojados en el proceso en cuanto a porcentaje de eficiencia y ahorro de energía) para la simulación en Aspen Plus® con una temperatura del calentador de la mezcla Metanol-Propanol 90°C y del calentador del ácido dodecanoico: 130°C. (10°C más que la temperatura original)

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	20	Kg/hr
Propanol	20	Kg/hr
Acido Dodecanoico	5	Kg/hr



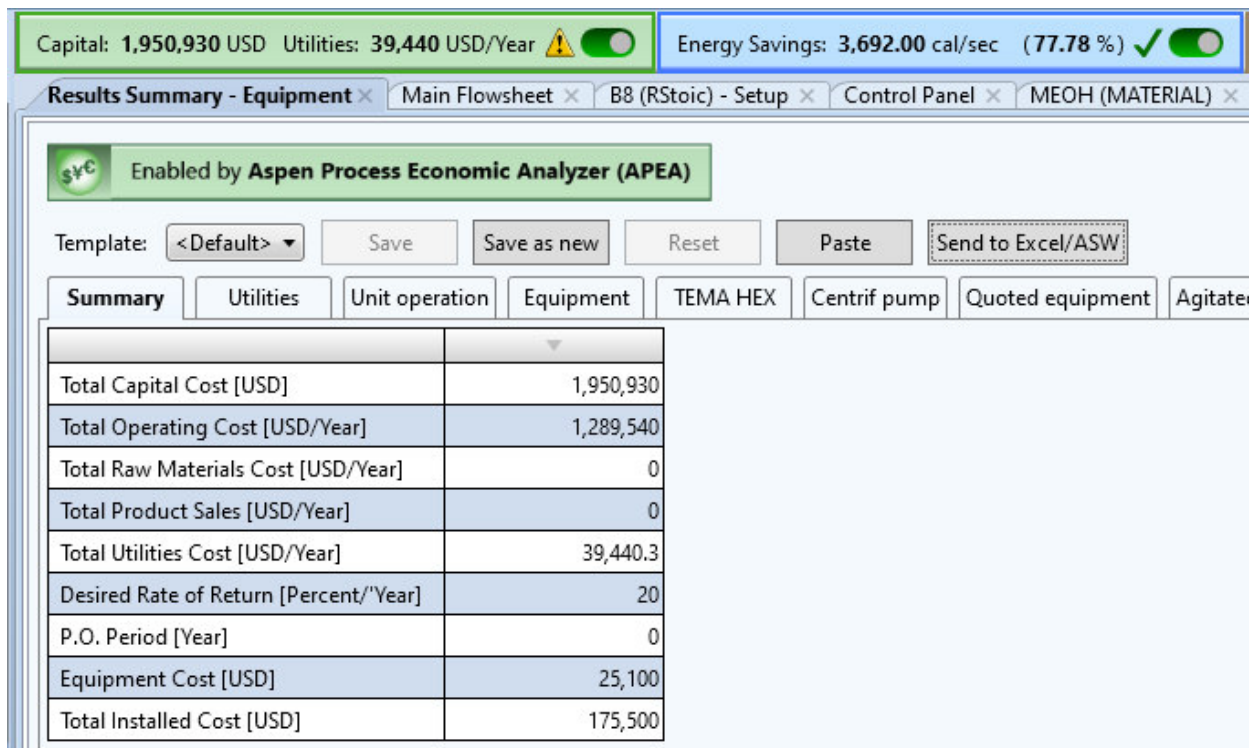
**Figura 94.** Resultado simulación, proporción 13

Esta proporción indicada en la tabla 32 considera una temperatura en el calentador de la mezcla metanol-propanol: 90°C; temperatura del calentador del ácido dodecanoico: 130°C.

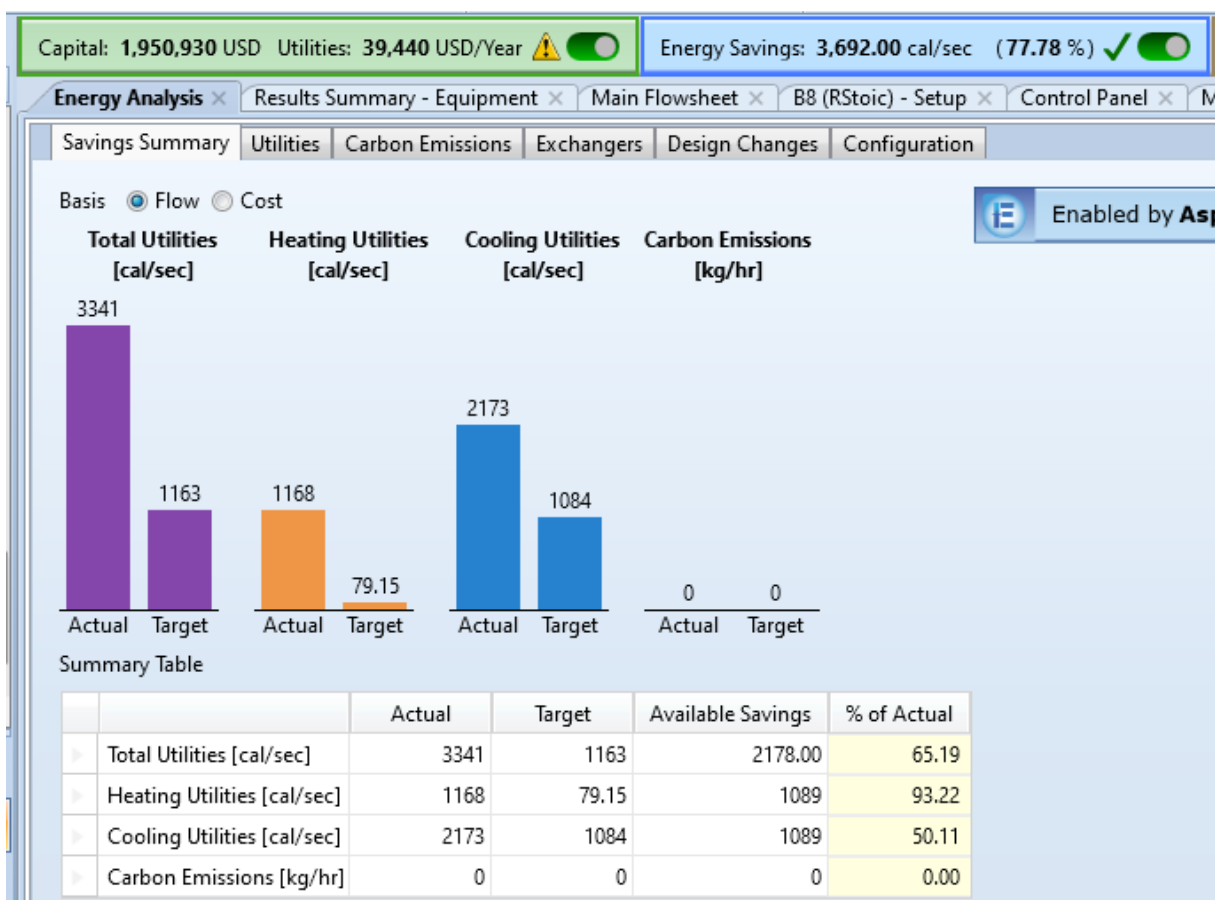
**Tabla 33.** Resultados de los componentes. Proporción 13 (Tabla 32) a una temperatura del calentador con la mezcla de Metanol-Propanol 90°C y el calentador con ácido dodecanoico: 130°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MIXED Substream										
Phase		Liquid Phase			Liquid Phase		Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	
Temperature	C	47.32	90.00	70.09	130.00	120.00	25.00	70.00	70.00	94.00
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	0.86	0.00	0.97	0.84	0.00	0.00	0.00	0.82
Molar Liquid Fraction		1.00	0.14	1.00	0.03	0.16	1.00	1.00	1.00	0.18
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	0.83	0.00	0.88	0.71	0.00	0.00	0.00	0.72
Mass Liquid Fraction		1.00	0.17	1.00	0.12	0.29	1.00	1.00	1.00	0.28
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-61617.00	-52806.50	-171642.00	-53782.00	-63108.90	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-55827.20
Mass Enthalpy	cal/gm	-1474.15	-1263.37	-856.83	-1173.57	-1321.22	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1218.20
Molar Entropy	cal/mol-K	-71.37	-46.76	-309.52	-47.89	-55.30	-57.38	-101.33	-309.55	-53.30
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.71	-1.12	-1.55	-1.04	-1.16	-1.79	-1.69	-1.55	-1.16
Molar Density	mol/cc	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
Mass Density	gm/cc	0.78	0.00	0.86	0.00	0.00	0.79	0.75	0.86	0.00
Enthalpy Flow	cal/sec	-16379.50	-14037.40	-1190.05	-14669.60	-16515.30	-9872.55	-6506.94	-1190.11	-15227.50
Average MW		41.80	41.80	200.32	45.83	47.77	32.04	60.10	200.32	45.83
Mole Flows	kmol/hr	0.96	0.96	0.02	0.98	0.94	0.62	0.33	0.02	0.98
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
METHA-01	kmol/hr	0.62	0.62	0.00	0.62	0.58	0.62	0.00	0.00	0.62
1-PRO-01	kmol/hr	0.33	0.33	0.00	0.33	0.27	0.00	0.33	0.00	0.33
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	0.03
METHA-01		0.65	0.65	0.00	0.64	0.61	1.00	0.00	0.00	0.64
1-PRO-01		0.35	0.35	0.00	0.34	0.28	0.00	1.00	0.00	0.34
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	40.00	40.00	5.00	45.00	45.00	20.00	20.00	5.00	45.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	5.00	5.00	0.50	0.00	0.00	5.00	5.00
METHA-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	20.00	18.56	20.00	0.00	0.00	20.00
1-PRO-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	20.00	16.06	0.00	20.00	0.00	20.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	9.88	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.11	0.01	0.00	0.00	1.00	0.11
METHA-01		0.50	0.50	0.00	0.44	0.41	1.00	0.00	0.00	0.44
1-PRO-01		0.50	0.50	0.00	0.44	0.36	0.00	1.00	0.00	0.44
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow	l/min	0.85	275.15	0.10	353.13	287.92	0.42	0.44	0.10	272.98
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol		-50977.30		-50846.10	-50428.80				-50872.20
Mass Enthalpy	cal/gm		-1254.61		-1215.67	-1246.59				-1255.15
Molar Entropy	cal/mol-K		-41.40		-41.41	-39.89				-41.08
Mass Entropy	cal/gm-K		-1.02		-0.99	-0.99				-1.01
Molar Density	mol/cc		0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Density	gm/cc		0.00		0.00	0.00				0.00
Enthalpy Flow	cal/sec		-11607.30		-13387.40	-11095.10				-11361.90
Average MW			40.63		41.83	40.45				40.53
Mole Flows	kmol/hr		0.82		0.95	0.79				0.80
N-DOD-01	kmol/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01	kmol/hr		0.57		0.62	0.55				0.56
1-PRO-01	kmol/hr		0.25		0.33	0.24				0.24
1:2:3-01	kmol/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01			0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01			0.69		0.65	0.70				0.70
1-PRO-01			0.31		0.35	0.30				0.30
1:2:3-01			0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Flows	kg/hr		33.31		39.64	32.04				32.59
N-DOD-01	kg/hr		0.00		0.12	0.00				0.00
METHA-01	kg/hr		18.22		19.87	17.77				17.97
1-PRO-01	kg/hr		15.08		19.66	14.27				14.62
1:2:3-01	kg/hr		0.00		0.00	0.00				0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01			0.00		0.00	0.00				0.00
METHA-01			0.55		0.50	0.55				0.55
1-PRO-01			0.45		0.50	0.45				0.45
1:2:3-01			0.00		0.00	0.00				0.00
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-61617.00	-63729.10	-171642.00	-135433.00	-130042.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-78220.60
Mass Enthalpy	cal/gm	-1474.15	-1306.95	-856.83	-861.93	-1505.73	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1211.18
Molar Entropy	cal/mol-K	-71.37	-78.78	-309.52	-228.00	-136.69	-57.38	-101.33	-309.55	-108.49
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.71	-1.62	-1.55	-1.45	-1.58	-1.79	-1.69	-1.55	-1.55
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
Mass Density	gm/cc	0.78	0.73	0.86	0.79	0.88	0.79	0.75	0.86	0.76
Enthalpy Flow	cal/sec	-16379.50	-2430.08	-1190.05	-1282.19	-5420.20	-9872.55	-6506.94	-1190.11	-3865.57
Average MW		41.80	48.76	200.32	157.13	86.36	32.04	60.10	200.32	69.77
Mole Flows	kmol/hr	0.96	0.14	0.02	0.03	0.15	0.62	0.33	0.02	0.18
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
METHA-01	kmol/hr	0.62	0.06	0.00	0.00	0.02	0.62	0.00	0.00	0.06
1-PRO-01	kmol/hr	0.33	0.08	0.00	0.01	0.03	0.00	0.33	0.00	0.09
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.72	0.02	0.00	0.00	1.00	0.14
METHA-01		0.65	0.40	0.00	0.12	0.16	1.00	0.00	0.00	0.36
1-PRO-01		0.35	0.60	0.00	0.17	0.20	0.00	1.00	0.00	0.50
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	40.00	6.69	5.00	5.36	12.96	20.00	20.00	5.00	12.41
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	5.00	4.88	0.50	0.00	0.00	5.00	5.00
METHA-01	kg/hr	20.00	1.78	0.00	0.13	0.79	20.00	0.00	0.00	2.03
1-PRO-01	kg/hr	20.00	4.92	0.00	0.34	1.80	0.00	20.00	0.00	5.38
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	9.87	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.91	0.04	0.00	0.00	1.00	0.40
METHA-01		0.50	0.27	0.00	0.02	0.06	1.00	0.00	0.00	0.16
1-PRO-01		0.50	0.73	0.00	0.06	0.14	0.00	1.00	0.00	0.43
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 13 con el aumento de temperatura de los calentadores 10°C por encima de los iniciales, arroja un costo de producción de 1,950,930 USD, con una utilidad de 39,440 USD/Year (figura 95), un ahorro de energía por año de 3,692 cal/sec y una eficiencia del proceso del 77.78% (figura 96).



**Figura 95.** Costo para la proporción 13 de inversión de capital y utilidad anual en USD.



**Figura 96.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 13.

#### 4.2.7 Proporción 14: Mejores promedios de componentes de la proporción del proceso de simulación, 10°C menos de temperatura vs inicial.

**Tabla 34.** Proporción 14 (combinación de los mejores promedios por cada componente arrojados en el proceso en cuanto a porcentaje de eficiencia y ahorro de energía) para la simulación en Aspen Plus® con una temperatura del calentador de la mezcla Metanol-Propanol 70°C y del calentador del ácido dodecanoico: 110°C. (10°C menos que la temperatura original)

Componente	Cantidad	Unidad
Metanol	20	Kg/hr
Propanol	20	Kg/hr
Acido Dodecanoico	5	Kg/hr

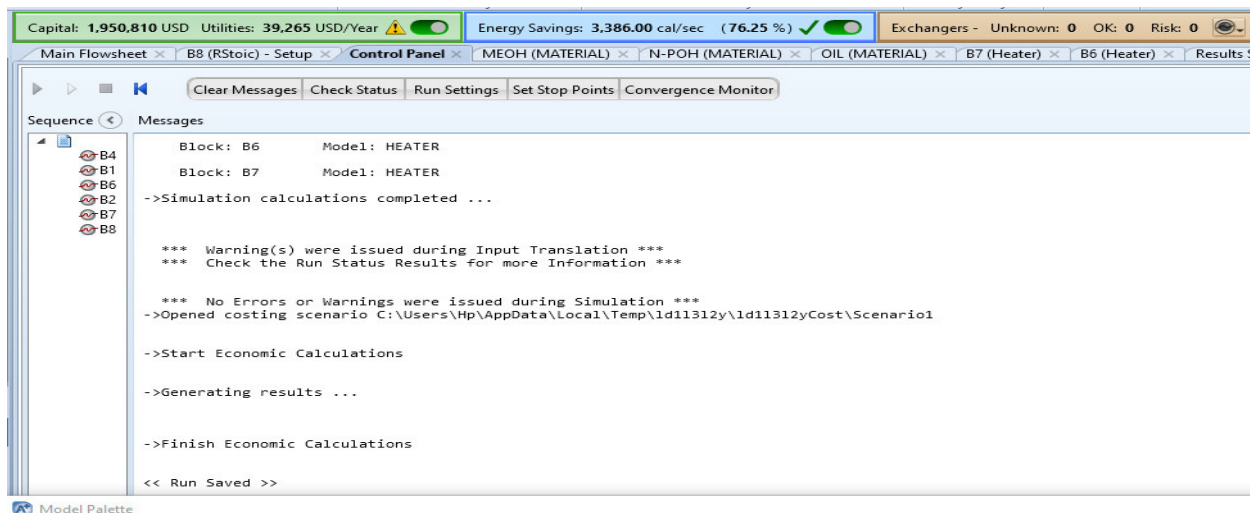


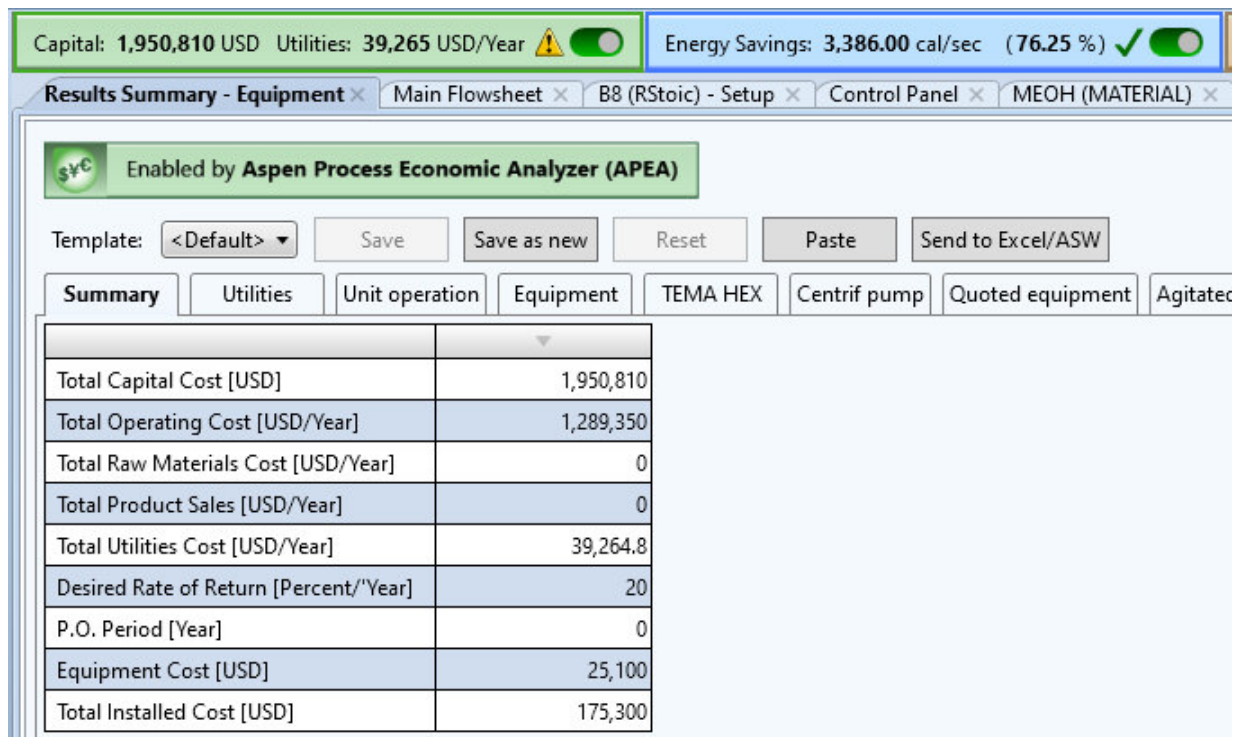
Figura 97. Resultado simulación, proporción 14

Esta proporción indicada en la tabla 34 considera una temperatura en el calentador de la mezcla metanol-propanol: 70°C; temperatura del calentador del ácido dodecanoico: 110°C.

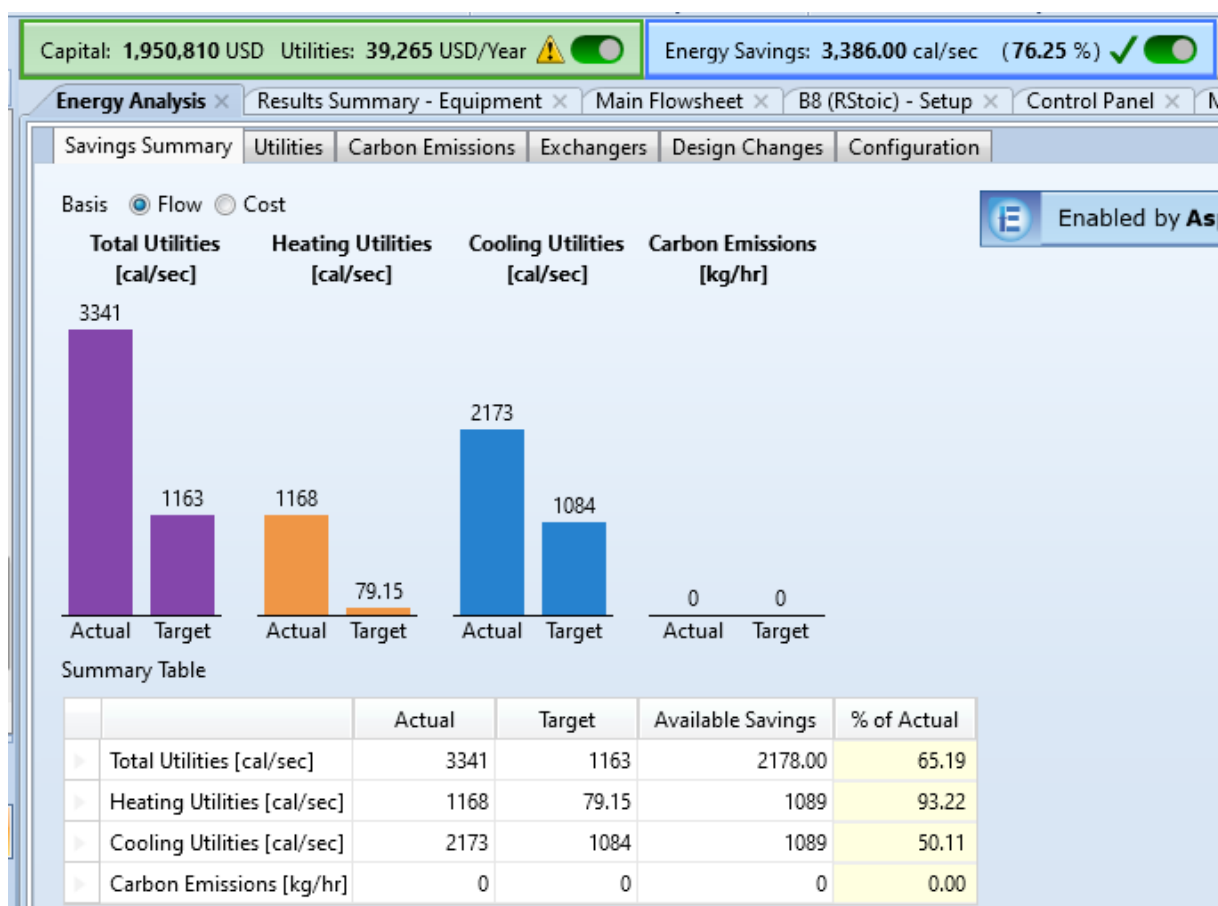
**Tabla 35.** Resultados de los componentes. Proporción 14 (Tabla 34) a una temperatura del calentador con la mezcla de Metanol-Propanol 70°C y el calentador con ácido dodecanoico: 110°C

Stream Name	Units	Material								
		1	2	4	5	6	MEOH	N-POH	OIL	S9
Description										
From		B1	B6	B4	B7	B8				B2
To		B6	B2	B2	B8		B1	B1	B4	B7
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error										
Cost Flow	\$/hr									
MIXED Substream										
Phase		Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase			Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase
Temperature	C	47.32	70.00	70.09	110.00	120.00	25.00	70.00	70.00	70.01
Pressure	bar	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50
Molar Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.95	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.05	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00
Molar Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Vapor Fraction		0.00	0.00	0.00	0.86	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Liquid Fraction		1.00	1.00	1.00	0.14	0.29	1.00	1.00	1.00	1.00
Mass Solid Fraction		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molar Enthalpy	cal/mol	-61617.00	-60896.50	-171642.00	-54343.10	-63108.90	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-63711.50
Mass Enthalpy	cal/gm	-1474.15	-1456.92	-856.83	-1185.81	-1321.22	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1390.24
Molar Entropy	cal/mol-K	-71.37	-69.26	-309.52	-49.31	-55.30	-57.38	-101.33	-309.55	-75.13
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.71	-1.66	-1.55	-1.08	-1.16	-1.79	-1.69	-1.55	-1.64
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02
Mass Density	gm/cc	0.78	0.76	0.86	0.00	0.00	0.79	0.75	0.86	0.76
Enthalpy Flow	cal/sec	-16379.50	-16188.00	-1190.05	-14822.70	-16515.30	-9872.55	-6506.94	-1190.11	-17378.00
Average MW		41.80	41.80	200.32	45.83	47.77	32.04	60.10	200.32	45.83
Mole Flows	kmol/hr	0.96	0.96	0.02	0.98	0.94	0.62	0.33	0.02	0.98
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
METHA-01	kmol/hr	0.62	0.62	0.00	0.62	0.58	0.62	0.00	0.00	0.62
1-PRO-01	kmol/hr	0.33	0.33	0.00	0.33	0.27	0.00	0.33	0.00	0.33
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	0.03
METHA-01		0.65	0.65	0.00	0.64	0.61	1.00	0.00	0.00	0.64
1-PRO-01		0.35	0.35	0.00	0.34	0.28	0.00	1.00	0.00	0.34
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	40.00	40.00	5.00	45.00	45.00	20.00	20.00	5.00	45.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	5.00	5.00	0.50	0.00	0.00	5.00	5.00
METHA-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	20.00	18.56	20.00	0.00	0.00	20.00
1-PRO-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	20.00	16.06	0.00	20.00	0.00	20.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	9.88	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.11	0.01	0.00	0.00	1.00	0.11
METHA-01		0.50	0.50	0.00	0.44	0.41	1.00	0.00	0.00	0.44
1-PRO-01		0.50	0.50	0.00	0.44	0.36	0.00	1.00	0.00	0.44
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Flow	l/min	0.85	0.88	0.10	329.31	287.92	0.42	0.44	0.10	0.98
Vapor Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol				-51076.10	-50428.80				
Mass Enthalpy	cal/gm				-1227.67	-1246.59				
Molar Entropy	cal/mol-K				-41.96	-39.89				
Mass Entropy	cal/gm-K				-1.01	-0.99				
Molar Density	mol/cc				0.00	0.00				
Mass Density	gm/cc				0.00	0.00				
Enthalpy Flow	cal/sec				-13194.40	-11095.10				
Average MW					41.60	40.45				
Mole Flows	kmol/hr				0.93	0.79				
N-DOD-01	kmol/hr				0.00	0.00				
METHA-01	kmol/hr				0.61	0.55				
1-PRO-01	kmol/hr				0.32	0.24				
1:2:3-01	kmol/hr				0.00	0.00				
Mole Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.66	0.70				
1-PRO-01					0.34	0.30				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Mass Flows	kg/hr				38.69	32.04				
N-DOD-01	kg/hr				0.02	0.00				
METHA-01	kg/hr				19.66	17.77				
1-PRO-01	kg/hr				19.01	14.27				
1:2:3-01	kg/hr				0.00	0.00				
Mass Fractions										
N-DOD-01					0.00	0.00				
METHA-01					0.51	0.55				
1-PRO-01					0.49	0.45				
1:2:3-01					0.00	0.00				
Liquid Phase										
Molar Enthalpy	cal/mol	-61617.00	-60896.50	-171642.00	-112821.00	-130042.00	-56940.80	-70387.30	-171651.00	-63711.50
Mass Enthalpy	cal/gm	-1474.15	-1456.92	-856.83	-929.13	-1505.73	-1777.06	-1171.25	-856.88	-1390.24
Molar Entropy	cal/mol-K	-71.37	-69.26	-309.52	-180.92	-136.69	-57.38	-101.33	-309.55	-75.13
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.71	-1.66	-1.55	-1.49	-1.58	-1.79	-1.69	-1.55	-1.64
Molar Density	mol/cc	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.02
Mass Density	gm/cc	0.78	0.76	0.86	0.79	0.88	0.79	0.75	0.86	0.76
Enthalpy Flow	cal/sec	-16379.50	-16188.00	-1190.05	-1628.27	-5420.20	-9872.55	-6506.94	-1190.11	-17378.00
Average MW		41.80	41.80	200.32	121.43	86.36	32.04	60.10	200.32	45.83
Mole Flows	kmol/hr	0.96	0.96	0.02	0.05	0.15	0.62	0.33	0.02	0.98
N-DOD-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
METHA-01	kmol/hr	0.62	0.62	0.00	0.01	0.02	0.62	0.00	0.00	0.62
1-PRO-01	kmol/hr	0.33	0.33	0.00	0.02	0.03	0.00	0.33	0.00	0.33
1:2:3-01	kmol/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Mole Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.48	0.02	0.00	0.00	1.00	0.03
METHA-01		0.65	0.65	0.00	0.21	0.16	1.00	0.00	0.00	0.64
1-PRO-01		0.35	0.35	0.00	0.32	0.20	0.00	1.00	0.00	0.34
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Flows	kg/hr	40.00	40.00	5.00	6.31	12.96	20.00	20.00	5.00	45.00
N-DOD-01	kg/hr	0.00	0.00	5.00	4.98	0.50	0.00	0.00	5.00	5.00
METHA-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	0.34	0.79	20.00	0.00	0.00	20.00
1-PRO-01	kg/hr	20.00	20.00	0.00	0.99	1.80	0.00	20.00	0.00	20.00
1:2:3-01	kg/hr	0.00	0.00	0.00	0.00	9.87	0.00	0.00	0.00	0.00
Mass Fractions										
N-DOD-01		0.00	0.00	1.00	0.79	0.04	0.00	0.00	1.00	0.11
METHA-01		0.50	0.50	0.00	0.05	0.06	1.00	0.00	0.00	0.44
1-PRO-01		0.50	0.50	0.00	0.16	0.14	0.00	1.00	0.00	0.44
1:2:3-01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00

El costo de capital en la proporción 14 con la disminución de temperatura de los calentadores 10°C por debajo de los iniciales, arroja un costo de producción de 1,950,810 USD, con una utilidad de 39,265 USD/Year (figura 98), un ahorro de energía por año de 3,386 cal/sec y una eficiencia del proceso del 76.25% (figura 99).



**Figura 98.** Costo para la proporción 14 de inversión de capital y utilidad anual en USD.



**Figura 99.** Ahorro de energía y eficiencia del proceso de producción en la proporción 14.

#### 4.2.8 Resumen de resultados: proporciones seleccionadas vs variación de temperatura en los calentadores.

La tabla 36 resume los resultados obtenidos de las últimas simulaciones realizadas a las diversas temperaturas de sus calentadores. Se resaltan los resultados que mejor presentan ahorro de energía para el proceso de obtención del bio-combustible así como el respectivo porcentaje de eficiencia.

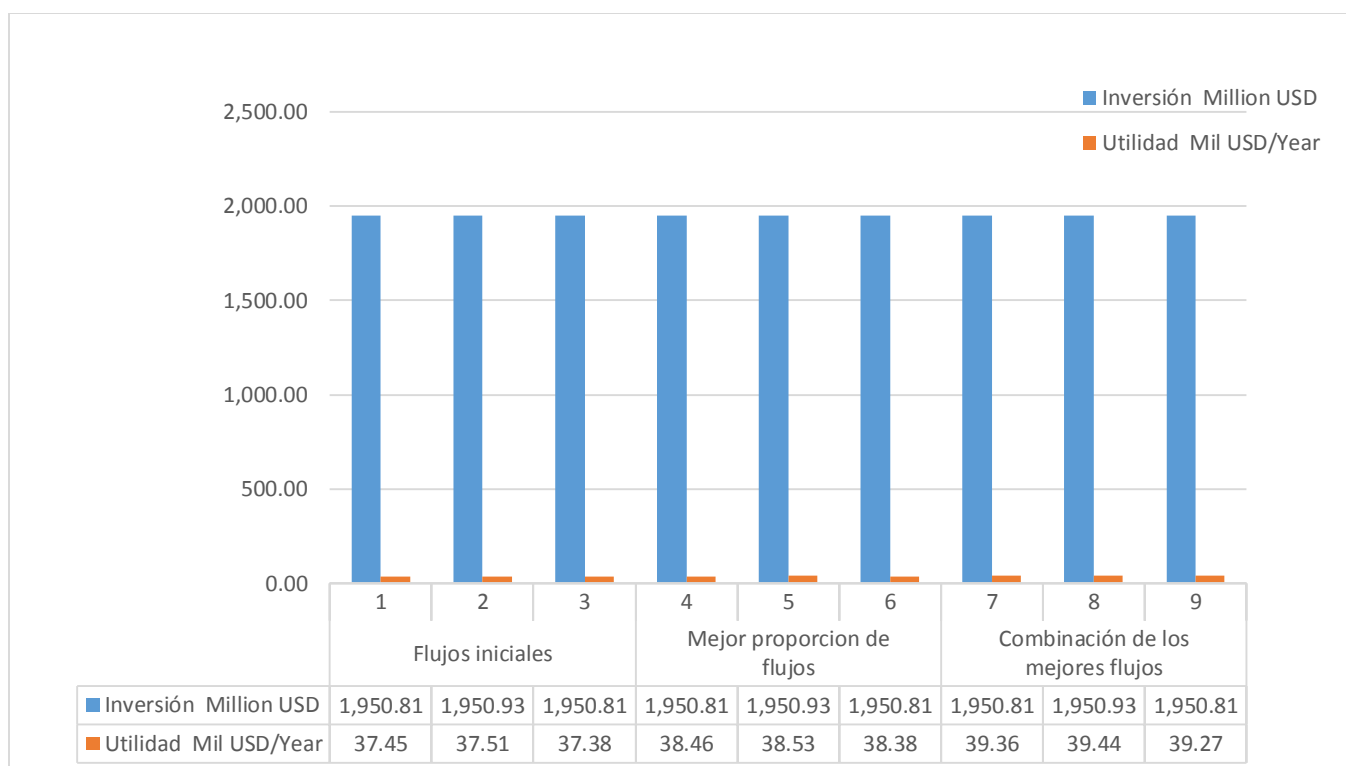
**Tabla 36.** Resumen de resultados simulaciones sometidas a variación de temperaturas de los calentadores.

	Metanol	Propanol	Acido dodecanoico	Temperatura calentador 1	Temperatura calentador 2	Inversión	Utilidad	Ahorro energía	% efectividad
	kg/hr			°C		Million USD	Mil USD/Year	cal/sec	%
Flujos iniciales	10	5	10	80	120	1,950.81	37.45	2,178.00	65.19
	10	5	10	90	130	1,950.93	37.51	2,335.00	67.77
	10	5	10	70	110	1,950.81	37.38	2,200.00	68.85
Mejor proporción de flujos	20	5	10	80	120	1,950.81	38.46	3,949.00	93.34
	20	5	10	90	130	1,950.93	38.53	4,094.00	94.09
	20	5	10	70	110	1,950.81	38.38	3,955.00	96.69
Combinación de los mejores flujos	20	20	5	80	120	1,950.81	39.36	3,553.00	77.11
	20	20	5	90	130	1,950.93	39.44	3,692.00	77.78
	20	20	5	70	110	1,950.81	39.27	3,386.00	76.25

De la tabla 36, la proporción Metanol (20 kg/hr)-propanol (5 kg/hr)-ácido dodecanoico (10kg/hr) que se realizó en el proceso de simulación con la mejor proporción de componentes, a una temperatura sometida en el primer calentador a 70°C y en segundo calentador a 110°Cm la inversión de 1,950,810 (representada en miles USD) ofrece la mejor eficiencia de todos los procesos: 96.69% aunque el valor de ahorro de energía está en el rango de 3,955 cal/sec.

La combinación de la misma proporción de los componentes a la temperatura inicial de 90°C en el primer calentador y 130°C en el segundo calentador es la segunda mejor opción de resultado.

A continuación, se representa gráficamente un comparativo entre los montos de inversión contra los montos de utilidad que pueden generarse en cada una de las simulaciones tomadas en la tabla 36.



**Figura 100.** Comparativo de Monto de inversión (Mil USD) vs Utilidad (Mil USD)

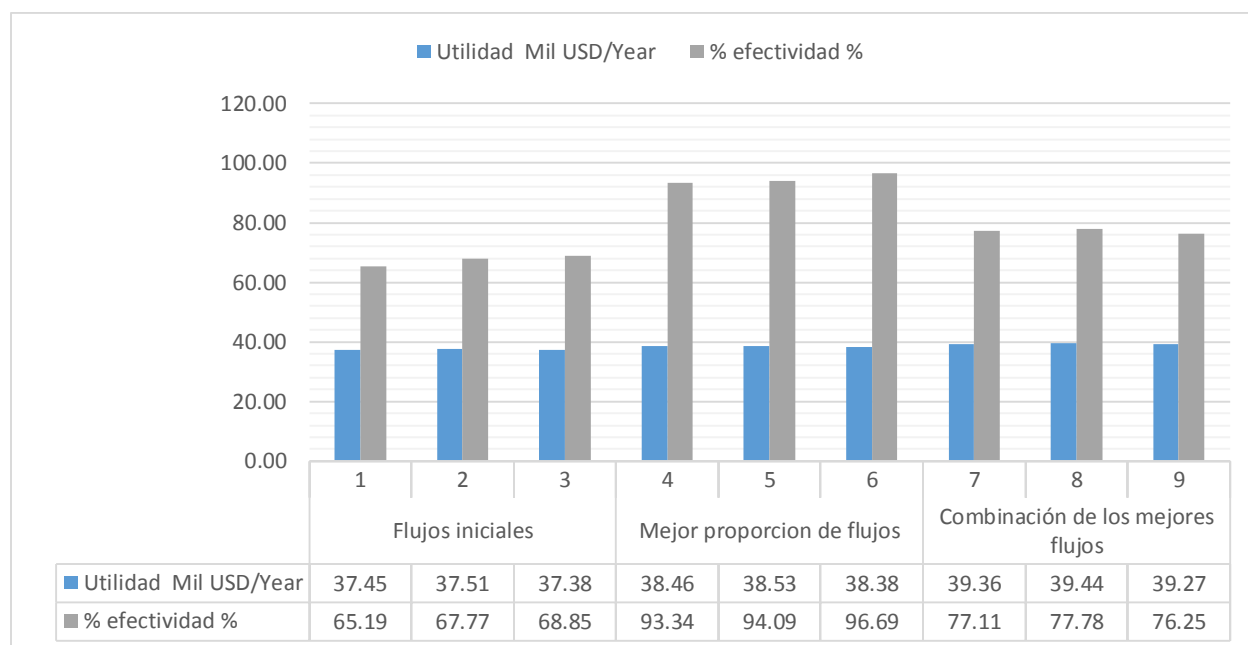
Comparativamente, el flujo número 8 que corresponde a la proporción de flujos de entrada con la proporción:

Metanol 20 kg/hr – propanol 20 kg/hr – ácido dodecanoico 5 kg/hr a una temperatura de 90°C en el calentador 1 y 130°C en el calentador 2 nos da una mejor utilidad (39,440 USD/year) con un costo de producción menor (1,950,810 million USD).

**Tabla 37.** Datos de la gráfica figura 100 Monto de inversión (Mil USD) vs Utilidad (Mil USD)

		Metanol	Propanol	Acido dodecanoico	Temperatura calentador 1	Temperatura calentador 2
		kg/hr			°C	°C
Flujos iniciales	1	10	5	10	80	120
	2	10	5	10	90	130
	3	10	5	10	70	110
Mejor proporción de flujos	4	20	5	10	80	120
	5	20	5	10	90	130
	6	20	5	10	70	110
Combinación de los mejores flujos	7	20	20	5	80	120
	8	20	20	5	90	130
	9	20	20	5	70	110

A continuación, la gráfica comparativa entre los montos de utilidad contra el porcentaje de eficiencia:



**Figura 101.** Comparativo de Monto de utilidad (Mil USD/year) vs % eficiencia

Comparativamente, el flujo número 6 que corresponde a la proporción de flujos de entrada con la proporción:

Metanol 20 kg/hr – propanol 5 kg/hr – ácido dodecanoico 10 kg/hr a una temperatura de 70°C en el calentador 1 y 110°C en el calentador 2 nos da una mejor eficiencia (96.69%) del proceso con una utilidad (38,380 USD/year).

**Tabla 38.** Datos de la gráfica figura 101 Monto de utilidad (Mil USD) vs %Eficiencia

		Metanol	Propanol	Acido dodecanoico	Temperatura calentador 1	Temperatura calentador 2
		kg/hr			°C	°C
Flujos iniciales	1	10	5	10	80	120
	2	10	5	10	90	130
	3	10	5	10	70	110
Mejor proporción de flujos	4	20	5	10	80	120
	5	20	5	10	90	130
	6	20	5	10	70	110
Combinación de los mejores flujos	7	20	20	5	80	120
	8	20	20	5	90	130
	9	20	20	5	70	110

### Conclusiones.

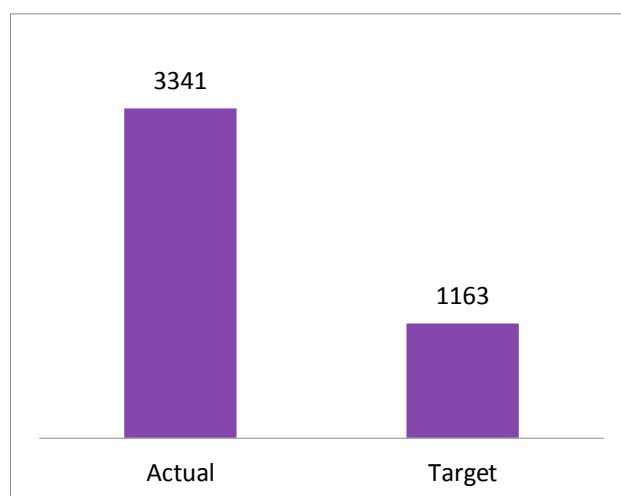
Se generó un modelo de simulación que proporcione los resultados necesarios para poder realizar balances esquetiométricos de las sustancias.

Después de la simulación de este modelo los resultados obtenidos que se dieron fue un biodiesel como combustible cuyo mejor costo de producción se toma en base a la eficiencia del proceso, por lo cual, la proporción adecuada fue la de combinar 20 kg/hr de metanol, 5 kg/hr de propanol y 10 kg/hr de ácido dodadecanoico, sometidos a una temperatura de 70°C cuando se mezcla el metanol con el propanol y de esta mezcla obtenida se combina con el ácido dodecanocio a una temperatura de 110°C para pasar por el proceso de separación dando el flujo de salida del biodiesel.

Esta combinación arroja una inversión de 1,950,810 USD, con una eficiencia del proceso del 96.96% y generando una utilidad anual de 38,380 USD por año.

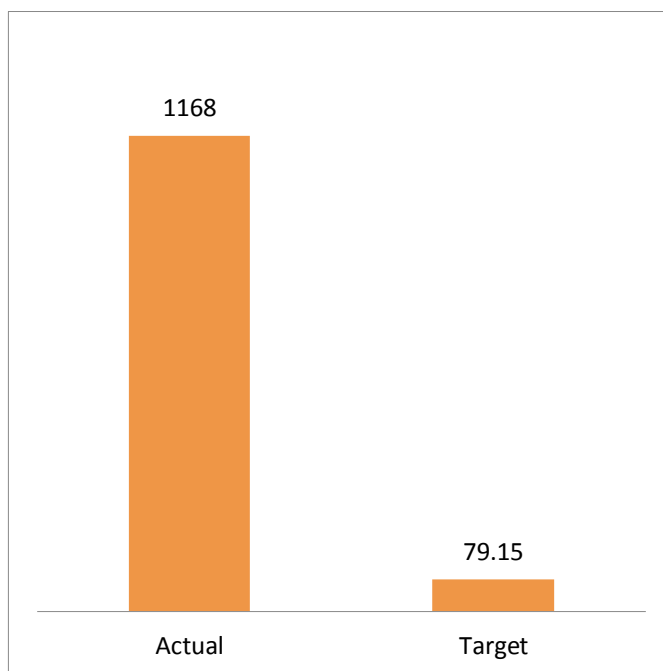
Una tasa de retorno a 20 años con un costo de equipamiento de 25,100 USD (costo de los calentadores, mezcladores y separadores) y un costo total de instalaciones de 175,300 USD (también de calentadores, mezcladores y separadores)

Con el uso de biodiesel generado se tendría un ahorro en servicios en general de 2,178 Cal/sec que convertidas a kilowatts se tiene un 9.11 kw/seg, es decir, un 65% de ahorro contra la energía utilizada convencionalmente además de no generar emisiones de carbón. La Figura 102 señala el total de cal/sec utilizadas en servicios (3,341 cal/sec) vs lo que se genera con el biodiesel (1163 cal/sec), la diferencia: 21,478 cal/sec es el ahorro señalado.



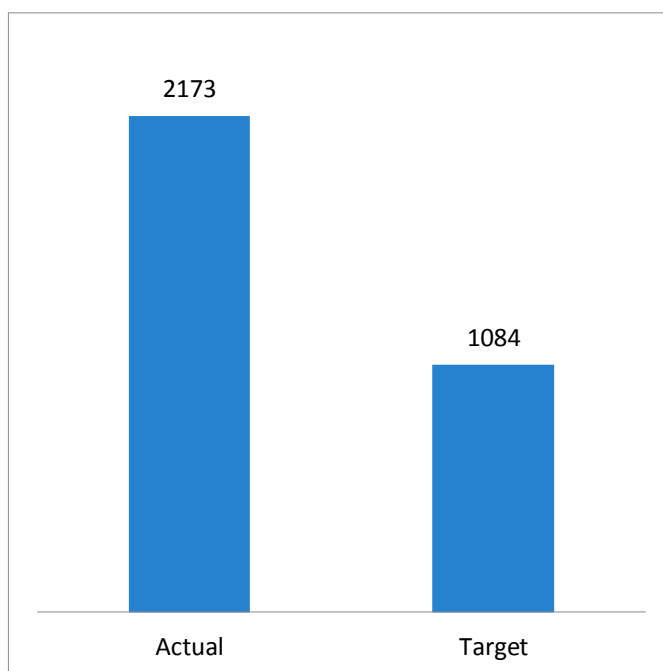
**Figura 102.** Resumen de resultados de análisis de energía activados: Servicios totales (cal/sec)

En servicios de calefacción se da un ahorro mayor al utilizar biodiesel con un ahorro disponible de 1,089 cal/sec lo que representa un 93.22% vs el uso común actual.



**Figura 103.** Resumen de resultados de análisis de energía activados: Servicios de calefacción (cal/sec)

Y en los servicios de enfriamiento con un ahorro al utilizar biodiesel generado de 1,089 cal/sec, que representa un 50.11% del uso común actual.



**Figura 1043.** Resumen de resultados de análisis de energía activados: Servicios de enfriamiento (cal/sec)

El modelo propuesto genera una alternativa viable para la producción de un biocombustible en eficiencia comprobada en la literatura para así disminuir las emisiones de efecto invernadero.

### **Recomendaciones y trabajo a futuro**

Se recomienda realizar la experimentación del modelo planteado para comprobar la viabilidad de la activación del biodiesel de forma teórica y experimental para posteriormente proponer una planta sustentable de generación y producción de biodiesel atendiendo las pruebas realizadas en la simulación.

### Bibliografía.

1. Bernal Gutiérrez, R., Martínez Pérez, L., & Jiménez Hernández, J. (2019). Biocombustibles, ambiente y sociedad. Una mirada desde la perspectiva bioética.. *InfoCiencia*, 19(4), 12. Recuperado de <http://www.infocienciass.cu/index.php/infociencia/article/view/149/209>
2. Maciel, C. Á. (2016). *Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico*.
3. Cortés-Sánchez, M. D., Gata-Montero, E. M., Pipió-Ternero, A., Rivas, Á. R., & Sánchez-Santos, J. M. (2019). Biocombustibles: tipos y estrategias de producción. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, (35), 6.
4. Contreras, L., López, M., Martínez, E., & Villavicencio, S. (2019). Producción de biodiesel a partir de desechos de aceites a nivel de laboratorio. *Revista científica Ingeniería y Ciencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar*, 1(17).
5. Gutiérrez Martínez, J. E., & Pérez Rodríguez, C. (2019). *Generación de biodiesel mediante el proceso de transesterificación a partir de aceite reutilizado utilizando un prototipo didáctico de reactor químico de biodiesel en la ciudad de Estelí en el periodo 2018-2019 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua)*.
6. Aiello-Mazzarri, Cateryna, Salazar, Yenmilet, Urribarrí, Aidin, Arenas-Dávila, Elsy, Sánchez-Fuentes, John, & Ysambertt, Fredy. (2019). Producción de biodiésel a partir de las grasas extraídas de la borra de café: esterificación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y transesterificación con KOH. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 29(1), 53-66. <https://dx.doi.org/10.18359/rcin.2899>
7. Erosa, A. D. J. M. (2019). *Tesis de Maestría (Doctoral dissertation, Tecnológico Nacional de México)*.
8. Pardal, A. C. D. V. (2012). *Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis*.
9. Gómez Castro, F. I., Gutiérrez Antonio, C., Hernández, S., Conde Mejía, C., López Molina, A., & Morales Rodríguez, R. (2019). *Producción de biocombustibles en*

- México. DIGITAL CIENCIA@UAQRO, 12(2), 51-60. Recuperado a partir de <http://ciencia.uaq.mx/index.php/ojs/article/view/43>
10. Vilaboa-Arroniz, J., Lopez-Collado, J., Platas-Rosado, D., & Vilaboa-Arroniz, I. (2019). THE MYTH OF BIOFUELS IN MEXICO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(2). Retrieved from <http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2474/1255>
  11. Secretaría de Energía (SENER). 2020. Sistema de información energética. <http://sie.energia.gob.mx/>. Consultado: marzo 2020.
  12. León, E., & Eduardo, L. (2019). Estudio de factibilidad de producción de biodiesel a partir de residuos grasos de la industria avícola (Doctoral dissertation, Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Región Córdoba-Orizaba).
  13. Robles Luqueño, M. F., Alarcón, S., María, J., & Rodríguez Juárez, E. (2019). LA CADENA GLOBAL DE VALOR DEL CAFÉ: ANÁLISIS TERRITORIAL DE LA PRODUCCIÓN EN MÉXICO E HIDALGO.
  14. Figueroa-Hernández, Esther, Pérez-Soto, Francisco, Godínez-Montoya, Lucila, & Perez-Figueroa, Rebeca Alejandra. (2019). Los precios de café en la producción y las exportaciones a nivel mundial. *Revista mexicana de economía y finanzas*, 14(1), 41-56. <https://dx.doi.org/10.21919/remef.v14i1.358>
  15. International Coffee Organization, 3 March 2020, Monthly Coffee Market Report - February 2020, <http://www.ico.org/Market-Report-19-20-e.asp>
  16. Paz, J. E. W., Guyot, S., Herrera, R. R., Sánchez, G. G., Esquivel, J. C. C., Castañeda, G. S., & Aguilar, C. N. (2013). Alternativas Actuales para el Manejo Sustentable de los Residuos de la Industria del Café e del Café en México Current Alternatives for Sustainable Management of Coffee Industry By Current Alternatives for Sustainable Management of Coffee Industry By-Products Products in Mexico. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(10).
  17. FIGUEROA-HERNÁNDEZ, Esther, PÉREZ-SOTO, Francisco, GODÍNEZMONTTOYA, Lucila, (2015). La producción y el consumo del café, ECORFAN- Spain

18. Navarro Ramírez, E., & Pezo Gonzáles, M. (2020). Cuantificación de cafeína y su efecto en la calidad sensorial en tres variedades de café (*Coffea arabica* L.), según nivel altitudinal en la Región San Martín.
19. Rafael Morales, Mercedes Yolanda, Hernández Guzmán, Andrés. (2014) Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible. Instituto Mexicano del transporte. Publicación técnica no, 417, Secretaria de comunicaciones y transportes.
20. José, R. D. A. A., & Marta, M. D. (2015). *Motores de combustión interna*. Editorial UNED.
21. ESCOBAR, E. A. (2019). Análisis comparativo del rendimiento de un motor M-Power-178-FD utilizando mezclas de biodiésel-diésel fabricado por transesterificación en reactor Batch y ultrasonido.
22. Villegas, A. M., Montseny, I. B., & Celoni, S. (2007). Motores de combustión interna. *Cataluña: IES Baix Montseny*.