

Sizing Fleet of Ships for Transporting Crude using Discrete Event Simulation

Eduardo Carbajal, Mag.¹

¹ Pontificia Universidad Católica Del Perú, Perú, ecarbajal@pucp.pe

Abstract— In the present study a model of discrete event simulation is used to simulate the transport operations of crude oil in an oilfield in the jungle of Peru by boat. The model is used to gauge the minimum fleet size required to meet the level of production of two different oil fields so as to maintain a pace of continuous power without interruption in oil extraction operations. For the sizing of the fleet was used to manage scenarios based on the model, considering usual operating scenarios in the stages of fluvial route from the point of extraction to the ports of delivery of the barrels.

Keywords— Discrete event simulation, inland logistics, transport, management scenarios

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.070>

ISBN: 13 978-0-9822896-8-6

ISSN: 2414-6668

13th LACCEI Annual International Conference: “Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?”
July 29-31, 2015, Santo Domingo, Dominican Republic **ISBN:** 13 978-0-9822896-8-6 **ISSN:** 2414-6668
DOI: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.070>

Dimensionamiento de flota de naves para transporte de crudos empleando simulación de eventos discretos

CARBAJAL, Eduardo, Magister in Statistics
Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, ecarbajal@pucep.pe

Abstract— En el presente estudio se emplea un modelo de simulación de eventos discretos para simular las operaciones de transporte de crudos en un yacimiento petrolero en la selva de Perú por vía fluvial. El modelo se emplea para dimensionar el tamaño de flota mínimo necesario para atender el nivel de producción de dos diferentes yacimientos petroleros de forma que se pueda mantener un ritmo de alimentación continua sin interrupciones en las operaciones de extracción del crudo. Para obtener el dimensionamiento de la flota se recurrió a la gestión de escenarios sobre la base del modelo, considerando escenarios usuales de operación en los tramos de recorrido fluvial desde los puntos de extracción hasta los puertos de entrega de los barriles de crudo.

Keywords— Simulación de eventos discretos, logística fluvial, transportes, gestión de escenarios

I. INTRODUCCIÓN

El alcance del trabajo es la de determinar el tamaño de flota necesaria para el transporte de crudo de lotes A y B de una empresa de extracción y transporte de crudos, de acuerdo a los niveles estimados para el año 2015 y 2016. Los niveles proporcionados en las estimaciones indican:

1. Mediados del 2015: Crudo Alfa (8,000 bls día) + Crudo Beta (9,000 bls día) = total 17,000 bls día
2. Mediados del 2016: Crudo Alfa (12,000 bls día) + Crudo Beta (9,000 bls día – 21,000 bls día) = total 21,000 bls día

Se determinará de acuerdo a la información proporcionada el tamaño necesario de flota considerando las distancias de recorrido de las naves y condiciones de operaciones regulares, entregándose un informe final con el detalle de resultados de la metodología aplicada. Para la determinación del tamaño de flota se consideraran condiciones estándar de operación y la evaluación de escenarios esperables en los años de operación 2015 y 2016.

II. ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA

Dado que el objetivo del estudio es determinar el dimensionamiento de flota, la cantidad de navíos de cada tipo no será un parámetro de entrada conocido a priori en el modelo sino que se define como un parámetro de control. El resto de datos necesarios para la construcción del modelo fueron obtenidos de estudios previos de la empresa petrolera. A continuación se muestran la relación de parámetros de

entrada considerados para el diseño del modelo de simulación de eventos discretos.

1. Velocidades de desplazamiento en nudos de los barcos por tramo.
2. Distancias en millas por tramo entre cada punto de recorrido.
3. Tiempo de unload de los barcos en el punto de destino final
4. Se considera un solo punto de alimentación en cada uno de los puestos de carga.
5. Se considera un solo punto de descarga en el puerto destino de Estación 1.

Para los tiempos de transacción se realizó un procedimiento de muestreo aleatorio de registros de tiempos que fueron analizados mediante el analizador de entrada del simulador. Los datos ingresados al ser de naturaleza discreta se evaluaron empleando pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov y Chi Cuadrado, verificándose el ajuste de los datos mediante la evaluación de la significancia de las pruebas. En el acápite siguiente se muestra el ejemplo de análisis seguido por cada variable aleatoria del modelo.

A. Procedimiento de análisis

Para validar la distribución de los datos en esta etapa, se procedió a validar la hipótesis nula mediante las pruebas propuestas, las pruebas de Chi cuadrado y K-S.A priori se podría validar con ambas pruebas ya que la variable con la que se está trabajando (tiempo entre llegada de camiones) es del tipo continua; sin embargo, el número de muestra al ser < 90 , la única prueba a analizar es la K-S. De lo anterior se procede a verificar que el p- value de esta prueba ($> .15$) para estos datos es $>$ a 5%, por lo que se cumple otra condición para no rechazar la hipótesis nula.

Cabe señalar que el software hace el cálculo de varias distribuciones y la que mejor ajusta a los datos es la distribución mostrada en la siguiente tabla; sin embargo, ello no asegura que realmente la distribución mostrada sea la mejor ajuste tenga con los datos. Por ello, al haber concluido que no se rechaza la hipótesis nula, se procedió a revisar los errores cuadráticos para determinar el mejor ajuste, la distribución con

menor error cuadrático (0.00406) fue la Beta, con ello queda validada que la distribución con mejor ajuste para los tiempos entre llegadas de camiones es la Beta con parámetros $\alpha = 1.19$ y $\beta = 1.36$.

TABLA I
DETERMINACIÓN DE VARIABLE ALEATORIA

VA	Distribución	P-value
Tiempo de atención de naves	$11+31 \cdot \text{Beta}(1.19, 1.36)$	>0.15

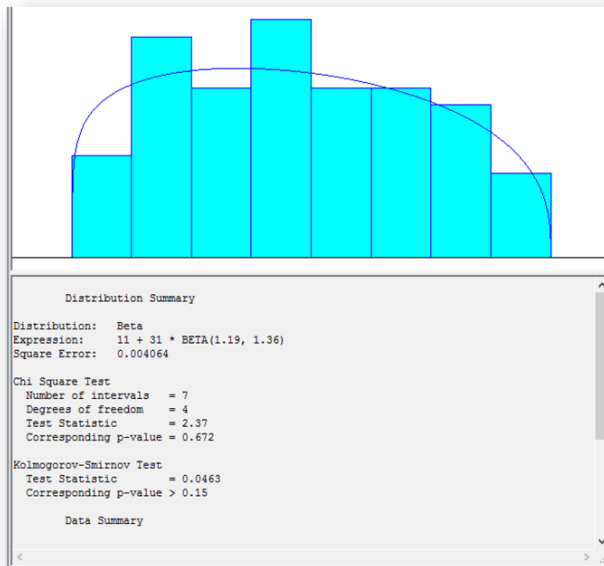


Fig. 1 Analizar de entradas: Histograma y Pruebas de Bondad de Ajuste

```

Fit All Summary
Data File: C:\Users\TOSHIBA\Desktop\info 1-s

Function      Sq Error
-----
Beta          0.00406
Weibull       0.00754
Normal        0.00902
Gamma         0.0108
Uniform       0.0111
Erlang        0.0115
Triangular    0.0167
Lognormal     0.0204
Exponential   0.0434
  
```

Fig. 2 Errores cuadráticos por distribución

Procedimiento análogo es seguido en el resto del modelo para determinar las variables aleatorias de entrada a ser empleadas.

III. MODELO DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

El resto de parámetros del modelo serán datos determinísticos, dentro de los que se incluyen la cantidad de grúas por muelle en el modelo de la situación actual y los tiempos de traslado adicionales al de permanencia. Empleando el software Rockwell Arena se construye el modelo de simulación de las operaciones. El modelo representa las ubicaciones físicas de cada una de los cuatro puntos referenciales descritos en los supuestos. La figura 31 muestra la estructura del modelo.

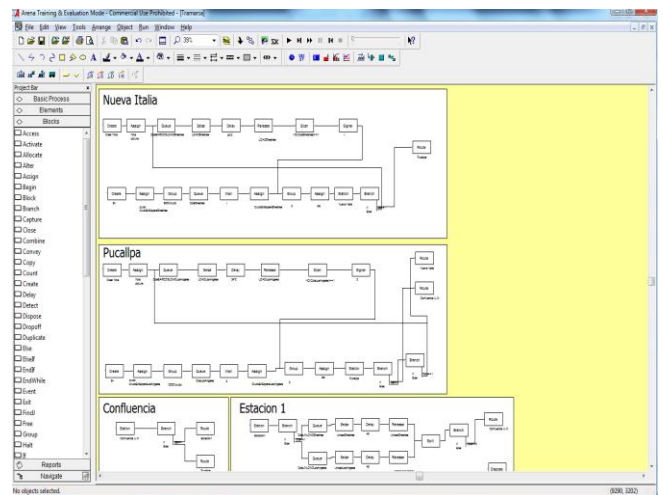


Fig. 3 Modelo en Arena

Este modelo se empleará para verificar la máxima acumulación de barriles de petróleo que se generan dependiendo del nivel de flota. Se probarán en el siguiente acápite diferentes niveles de flota y se verificará la acumulación máxima obtenible de barriles en cada punto para determinar el tamaño mínimo de flota necesario considerando que no se tiene ningún pulmón en ninguno de los puntos de emisión.

IV. RESULTADOS

Para la determinación del tamaño de flota se emplea el modelo anterior descrito. Se analizarán diferentes escenarios variando el tamaño de flota y observando el resultado en la acumulación de crudo que se produce en el Puerto 1 (Crudo Alfa) y en el Puerto 2 (Crudo Beta). De esta forma se podrá determinar el tamaño mínimo de flota de acuerdo a los pulmones disponibles en cada puerto. Para la evaluación de estos escenarios se emplea el *Process Analyzer* de *Rockwell Arena*, considerándose los volúmenes estimados del año 2015 y del año 2016 que se presentan a continuación.

A. Volumen estimado año 2015

Se considera para el volumen del año 2015 un volumen estimado de:

- Crudo Alfa: 6,000 barriles por día.
- Crudo Beta: 3,000 barriles por día.

En la ejecución de estos escenarios se toman las mismas consideraciones básicas indicadas previamente en la definición del modelo, entre las principales se considera un tiempo de carga de 4 días para las barcasas en Puerto Nueva Italia (barcaza transporta 12000 bls.) y un tiempo de carga de 2 días en Pucallpa (barcaza transporta 12000 bls.). El tiempo de descarga es de 2 días en ambos casos y se considera 1 posición para la descarga de cada crudo. Los escenarios considerados prueban con tamaños de flota desde 1 hasta 30 barcasas. En la figura 4 se muestra la configuración de escenarios y resultados de la corrida obtenidos en el *Process Analyzer*.

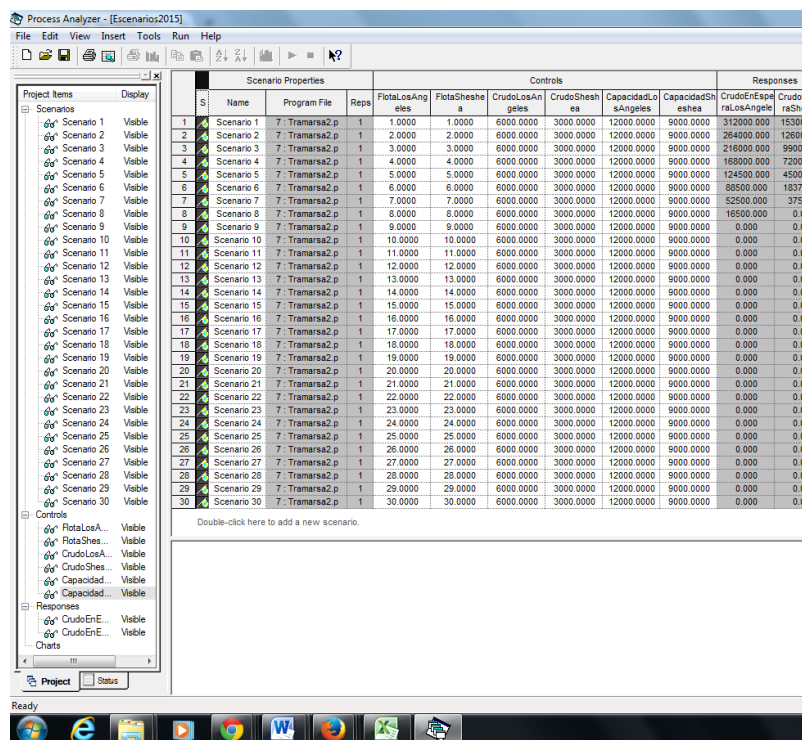


Fig. 4 Análisis de escenarios A

La Tabla 1 muestra el resumen de resultados obtenidos. En caso de contar con un pulmón en los puertos de carga de crudo, el tamaño de flota quedaría determinado por el tamaño de flota mínimo que asegura una acumulación cero de crudo. Bajo esta consideración se tendría un dimensionamiento de flota de:

- Crudo Alfa: 9 barcasas.
- Crudo Beta: 8 barcasas.

En caso de contar con un FSU (Floating Storage Unit) se obtendría un pulmón de acumulación de hasta 30000 barriles. En este caso el tamaño de flota quedaría determinado por el tamaño mínimo de flota que no supere una acumulación máxima de 30000 barriles. Bajo esta consideración revisando la Tabla II se tendría un dimensionamiento de flota de:

- Crudo Alfa: 8 barcasas.
- Crudo Beta: 6 barcasas.

TABLA II
DETERMINACIÓN DE FLOTA 2015

Crudo Los Angeles	
Tamaño de flota	Acumulación de crudo máxima
1	312000
2	264000
3	216000
4	168000
5	124500
6	88500
7	52500
8	16500
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0
23	0
24	0
25	0
26	0
27	0
28	0
29	0
30	0

Crudo Sheshea	
Tamaño de flota	Acumulación de crudo máxima
1	153000
2	126000
3	99000
4	72000
5	45000
6	18375
7	375
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0
23	0
24	0
25	0
26	0
27	0
28	0
29	0
30	0

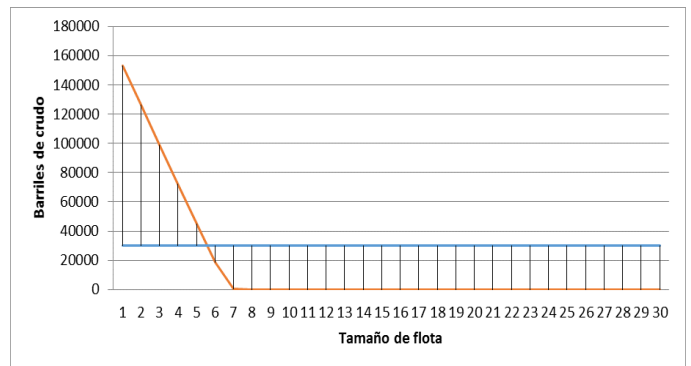


Fig. 6 Tamaño de flota B

B. Volumen estimado año 2016

Se considera para el volumen del año 2016 un volumen estimado de:

- Crudo Alfa: 9,000 barriles por día.
- Crudo Beta: 6,000 barriles por día.

En la ejecución de estos escenarios se toman las mismas consideraciones básicas indicadas previamente en la definición del modelo, entre las principales se considera un tiempo de carga de 2 días para las barcazas en Puerto Nueva Italia (barcaza transporta 12000 bls.) y un tiempo de carga de 1.5 días en Pucallpa (barcaza transporta 12000 bls.). El tiempo de descarga es de 2 días en ambos casos y se considera 1 posición para la descarga de cada crudo. Los escenarios considerados prueban con tamaños de flota desde 1 hasta 30 barcazas. En el gráfico 4 se muestra la configuración de escenarios y resultados de la corrida obtenidos en el Process Analyzer.

En las figuras 5 y 6 puede observarse gráficamente la determinación de flota para cada caso.

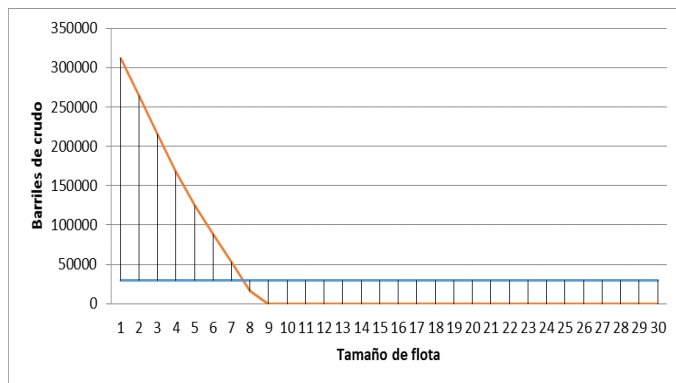


Fig. 5 Tamaño de flota A

Fig. 7 Análisis de escenarios B

La Tabla 2 muestra el resumen de resultados obtenidos. En caso de contar con un pulmón en los puertos de carga de crudo, el tamaño de flota quedaría determinado por el tamaño de flota mínimo que asegura una acumulación cero de crudo. Bajo esta consideración se tendría un dimensionamiento de flota de:

- Crudo Alfa: 23 barcasas.
- Crudo Beta: 11 barcasas.

En caso de contar con un FSU (*Floating Storage Unit*) se obtendría un pulmón de acumulación de hasta 30000 barriles. En este caso el tamaño de flota quedaría determinado por el tamaño mínimo de flota que no supere una acumulación máxima de 30000 barriles. Bajo esta consideración revisando la Tabla III se tendría un dimensionamiento de flota de:

- Crudo Alfa: 21 barcasas.
- Crudo Beta: 10 barcasas.

En las figuras 8 y 9 puede observarse gráficamente la determinación de flota para cada caso.

Crudo Los Angeles		Crudo Sheshea	
Tamaño de flota	Acumulación de crudo máxima	Tamaño de flota	Acumulación de crudo máxima
1	492000	1	324000
2	444000	2	288000
3	396000	3	252000
4	348000	4	216000
5	300000	5	180000
6	252750	6	144000
7	216750	7	108000
8	180750	8	72000
9	168000	9	36000
10	156000	10	750
11	144000	11	0
12	132000	12	0
13	120000	13	0
14	108000	14	0
15	96000	15	0
16	84000	16	0
17	72000	17	0
18	60000	18	0
19	48000	19	0
20	36000	20	0
21	24000	21	0
22	12000	22	0
23	0	23	0
24	0	24	0
25	0	25	0
26	0	26	0
27	0	27	0
28	0	28	0
29	0	29	0
30	0	30	0

TABLA III
DETERMINACIÓN DE FLOTA 2016

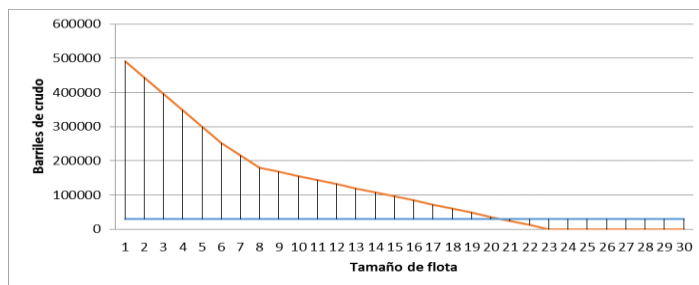


Fig. 7 Tamaño de flota A

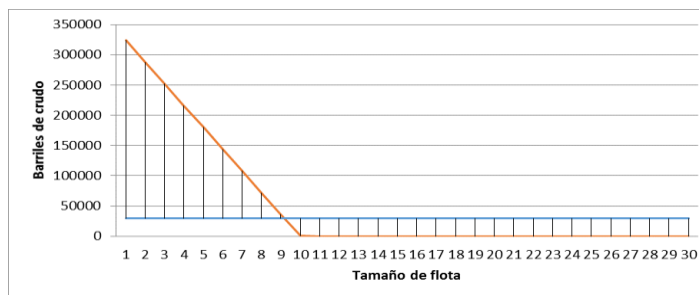


Fig. 5 Tamaño de flota A

V. CONCLUSIONES

Con respecto al dimensionamiento de flota óptimo para las estimaciones de volumen del año 2015, se determina un mínimo de 8 barcasas para el crudo de Beta y 9 barcasas para el crudo Alfa. Esto implica un total de flota de 17 barcasas. Considerando el FSU esto se reduce a un mínimo de 6 barcasas para el crudo de Beta y 8 barcasas para el crudo Alfa. Esto implica un total de flota de 14 barcasas.

Con respecto al dimensionamiento de flota óptimo para las estimaciones de volumen del año 2016, se determina un mínimo de 11 barcasas para el crudo de Beta y 23 barcasas para el crudo Alfa. Esto implica un total de flota de 34 barcasas. Considerando el FSU esto se reduce a un mínimo de 10 barcasas para el crudo de Beta y 21 barcasas para el crudo Alfa. Esto implica un total de flota de 31 barcasas.

Ambos resultados están sujetos a los supuestos detallados para la construcción del modelo. Si el punto de descarga no supone una restricción y se podría descargar en simultáneo varias barcasas se presume que el dimensionamiento de flota óptima podría ser menor.

REFERENCES

- [1] Altiok, T. (2007). "Simulation Modeling and Analysis with Arena" *Academic Press*
- [2] Banks, J, Barry, N., Carson, J. y Nicol, D.. (2004). "Discrete-Event System Simulation". Cuarta edición. *Editorial Prentice Hall International*.
- [3] Kelton, David, Sadowwski, D. y Sadowwski, R. (2010). "Simulation with Arena" *Editorial McGraw-Hill*
- [4] Rosseti, M.D. (2010). "Simulation Modeling and Arena", 3rd edition, *Wiley & Sons United States of America*