

Simulación de Operaciones de Pulling

Esta nota técnica se refiere a la aplicación de la teoría de líneas de espera en el entorno de operaciones de reparación de pozos; recordemos que la teoría de líneas de espera se caracteriza por la existencia de fenómenos endémicos como son los cuellos de botella (en este caso los pozos en espera de ser reparados) y la capacidad ociosa (en este caso se la cantidad de equipos de reparación que exceden al óptimo)

Particularmente las operaciones de reparación se caracterizan por la presencia de pozos que requieren servicio y que por lo general forman una línea de espera hasta ser atendidos por una unidad de servicio, en donde el costo de la operación está dado por la suma correspondiente al petróleo perdido o diferido mientras los pozos esperan ser atendidos más el costo de los equipos de reparación.

Observamos que a medida que más equipos tenemos los pozos esperarán menos tiempo para ser atendidos y la producción perdida será menor.

En contraposición el costo del servicio crecerá cuando más equipos tengamos.

En este punto el objetivo será determinar el número de unidades de reparación próximo al óptimo para las condiciones que se dan en nuestra área de operaciones, para lo cual debemos considerar variables estadísticas, variables económicas y políticas de contratación, entre otras.

Las variables más importantes que hacen este sistema son de características aleatoria y por lo tanto solo podemos atacar el problema mediante técnicas de simulación estocástica.

Simulación de eventos discretos

Para realizar la simulación del sistema utilizaremos la librería Simpy, la cual permite la simulación de eventos discretos basado en procesos, donde dichos procesos se definen por funciones; de esta manera, se pueden modelar componentes activos como clientes, vehículos o agentes. Además, proporciona varios tipos de recursos compartidos para modelar puntos de congestión de capacidad limitada (como servidores, mostradores de pago y túneles).

Para nuestro ejercicio asumiremos que el tiempo entre llegadas de los pozos a reparar es exponencial con media de 20 horas, de modo que las llegadas son calculadas de acuerdo con la siguiente fórmula:

```
llegada=-t_arribos*math.log(R)
```

donde t_arribos es el promedio de llegadas (20 horas), R es un número pseudoaleatorio

En principio, la flota de pozos a reparar es atendida por un solo equipo de pulling, y se tarda entre 28 horas (tiempo_min) y 32 horas (tiempo_max), distribuidos de una manera uniforme para concretar la operación planteada, esto es:

```
tiempo=tiempo_max-tiempo_min  
tiempo_int=tiempo_min+(tiempo*R)
```

Los pozos son atendidos con base en la disciplina FIFO (primero en llegar, primero en salir).

El primer procedimiento invocado es el de principal, que a su vez manda a llamar a pozo, y que a su vez manda a llamar a intervención.

El procedimiento intervención calcula el tiempo que se demora con la reparación de cada pozo.

El procedimiento pozo muestra el instante (en horas) en que el pozo llega, espera a ser reparado, el tiempo en que el pozo comienza a ser atendido, y el tiempo en el que termina de ser atendido y deja la intervención.

```
def intervencion(pozo):
    global dt
    R=random.random()
    tiempo=tiempo_max-tiempo_min
    tiempo_int=tiempo_min+(tiempo*R)
    yield env.timeout(tiempo_int) # deja correr el tiempo en tiempo_int
    print('WORK    end: %s finaliza  intervención en %.2f' %
(pocho,tiempo_int))
    dt=dt+tiempo_int
```

```
def pozo(env,name,equipos):
    global te
    global fin
    global ultimo_pozo_arriba,ultimo_pozo_reparado
    llega=env.now
    print('---> ARRIBO: %s llegó a la intervención en %.2f' %
(name,llega))
    ultimo_pozo_arriba=name
    with equipos.request() as request: # Espera su turno
        yield request # Obtiene turno
        pasa=env.now # Guarda el tiempo cuando comienza
        espera=pasa-llega
        te=te+espera
        print('WORK  start: %s comienza en %.2f esperando %.2f'%
(name,pasa,espera))
        yield env.process(intervencion(name)) # Invoca al proceso
        deja=env.now #Guarda el tiempo en que termina el proceso
        print('<--- SALIDA: %s termina con el PU en el minuto %.2f' %
(name,deja))
        ultimo_pozo_reparado=name
        fin=deja # Conserva globalmente la última hora de la simulación
```

```
def principal (env,equipos):
    llegada=0
    i=0
    for i in range (tot_pozos):
        R=random.random()
        llegada=-t_arribos*math.log(R)
        yield env.timeout(llegada) # Deja transcurrir un tiempo
        i+=1
        env.process(pozo(env,'Pozo %d' % i,equipos))
```

Resultados obtenidos

Una vez creado el entorno de simulación y sus recursos asociados (equipos de pulling) se llama al proceso principal lo que inicia la simulación.

En nuestro caso vamos a realizarla para una cantidad variable de equipos de pulling, y para un máximo de tiempo 2 años, involucrando la población total de 1,200 pozos.

Para poder cuantificar las repercusiones económicas en el negocio, vamos a definir una serie de variables tales como:

```
cte_oil=1*6.29*70 #1m3opd x $70/bbl - ingresos por venta de petróleo
cte_rig_op=3000/24 # tarifa operativa $3,000/day
cte_rig_st=1000/24 # tarifa stand by $1,000/day
```

Estas variables dependerán de cada situación en particular, y como tal deberán adecuarse a sus valores correspondientes.

Al invocar la simulación de 1 rig podemos observar las primeras 20 líneas de salida:

```
1  ---> ARRIBO: Pozo 1 llegó a la intervención en 12.36
2  WORK  start: Pozo 1 comienza en 12.36 esperando 0.00
3  WORK  end: Pozo 1 finaliza  intervención en 20.60
4  <--- SALIDA: Pozo 1 termina con el PU en el minuto 32.96
5  ---> ARRIBO: Pozo 2 llegó a la intervención en 37.17
6  WORK  start: Pozo 2 comienza en 37.17 esperando 0.00
7  ---> ARRIBO: Pozo 3 llegó a la intervención en 45.67
8  WORK  end: Pozo 2 finaliza  intervención en 24.20
9  <--- SALIDA: Pozo 2 termina con el PU en el minuto 61.37
10 WORK  start: Pozo 3 comienza en 61.37 esperando 15.70
11 ---> ARRIBO: Pozo 4 llegó a la intervención en 72.83
12 ---> ARRIBO: Pozo 5 llegó a la intervención en 81.70
13 ---> ARRIBO: Pozo 6 llegó a la intervención en 81.93
14 WORK  end: Pozo 3 finaliza  intervención en 27.94
15 <--- SALIDA: Pozo 3 termina con el PU en el minuto 89.31
16 WORK  start: Pozo 4 comienza en 89.31 esperando 16.49
17 ---> ARRIBO: Pozo 7 llegó a la intervención en 97.39
18 ---> ARRIBO: Pozo 8 llegó a la intervención en 97.54
19 ---> ARRIBO: Pozo 9 llegó a la intervención en 125.86
20 WORK  end: Pozo 4 finaliza  intervención en 39.87
```

El primer pozo (pozo 1) arribó a las 12.36 horas, comenzó su trabajo inmediatamente, y finalizó su intervención a las 20.60 horas.

El segundo pozo (pozo 2) arribó a las 37.17 horas y finalizó a las 61.37 horas.

El tercer pozo (pozo 3) es el primer pozo que experimenta tiempo de espera, y a partir de allí se propaga en el resto de los arribos.

Como resultado observamos el uso del equipo al 100% para reparar los 593 pozos, mientras que los restantes 298 pozos (891-593) quedaron en lista de espera.

Rigs	Tiempo de espera (hs)	Tiempo de trabajo total (hs)	Eficiencia del sistema (%)	Ultimo Pozo arribado	Ultimo Pozo reparado
1	1,960,204.8	17,490.5	99.9	Pozo 891	Pozo 593

Ahora simulamos 6 rigs (2 años), donde observamos las primeras 30 líneas de salida:

```
1  ---> ARRIBO: Pozo 1 llegó a la intervención en 12.36
2  WORK  start: Pozo 1 comienza en 12.36 esperando 0.00
3  WORK  end: Pozo 1 finaliza  intervención en 20.60
4  <--- SALIDA: Pozo 1 termina con el PU en el minuto 32.96
5  ---> ARRIBO: Pozo 2 llegó a la intervención en 37.17
6  WORK  start: Pozo 2 comienza en 37.17 esperando 0.00
7  ---> ARRIBO: Pozo 3 llegó a la intervención en 45.67
8  WORK  start: Pozo 3 comienza en 45.67 esperando 0.00
9  WORK  end: Pozo 2 finaliza  intervención en 24.20
10 <--- SALIDA: Pozo 2 termina con el PU en el minuto 61.37
11 ---> ARRIBO: Pozo 4 llegó a la intervención en 72.83
12 WORK  start: Pozo 4 comienza en 72.83 esperando 0.00
13 WORK  end: Pozo 3 finaliza  intervención en 27.94
14 <--- SALIDA: Pozo 3 termina con el PU en el minuto 73.62
15 ---> ARRIBO: Pozo 5 llegó a la intervención en 81.70
16 WORK  start: Pozo 5 comienza en 81.70 esperando 0.00
17 ---> ARRIBO: Pozo 6 llegó a la intervención en 97.17
18 ---> ARRIBO: Pozo 7 llegó a la intervención en 97.32
19 WORK  end: Pozo 4 finaliza  intervención en 39.78
20 <--- SALIDA: Pozo 4 termina con el PU en el minuto 112.60
21 WORK  start: Pozo 6 comienza en 112.60 esperando 15.44
22 WORK  end: Pozo 5 finaliza  intervención en 39.87
23 <--- SALIDA: Pozo 5 termina con el PU en el minuto 121.57
24 WORK  start: Pozo 7 comienza en 121.57 esperando 24.26
25 ---> ARRIBO: Pozo 8 llegó a la intervención en 125.64
26 ---> ARRIBO: Pozo 9 llegó a la intervención en 129.08
27 WORK  end: Pozo 6 finaliza  intervención en 21.45
28 <--- SALIDA: Pozo 6 termina con el PU en el minuto 134.06
29 WORK  start: Pozo 8 comienza en 134.06 esperando 8.42
30 ---> ARRIBO: Pozo 10 llegó a la intervención en 139.31
```

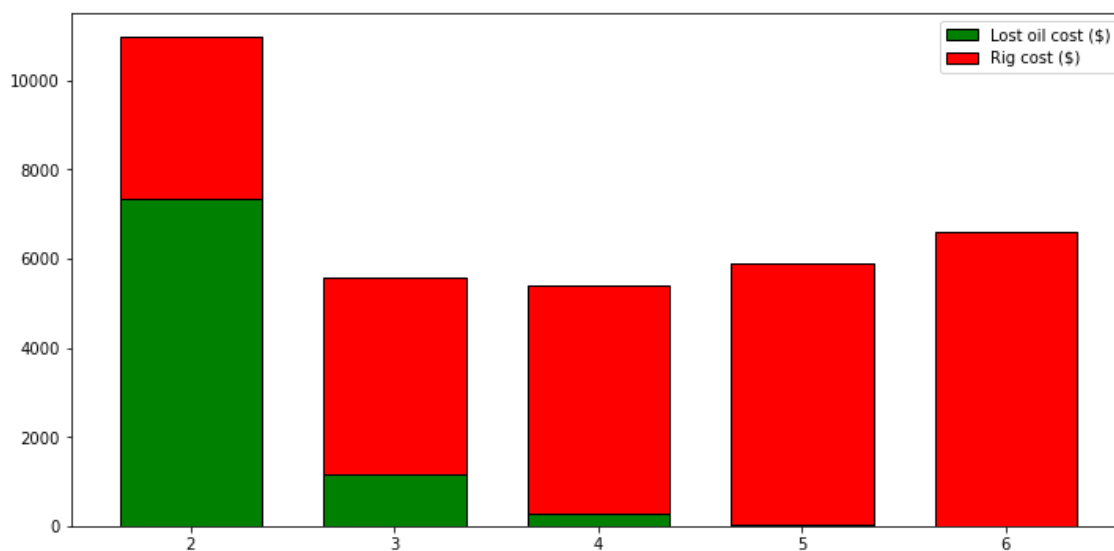
El primer pozo (pozo 1) arribó a las 12.36 horas, comenzó su trabajo inmediatamente, y finalizó su intervención a las 20.60 horas.

El segundo pozo (pozo 2) arribó a las 37.17 horas y finalizó a las 61.37 horas.

El sexto pozo (pozo 6) es el primer pozo que experimenta tiempo de espera, y a partir de allí se propaga en el resto de los arribos; aquí observamos claramente el efecto de los 6 rigs (pozo 6 esperando a ser reparado) en comparación a la simulación con 1 rig (pozo 3 esperando a ser reparado)

Para poder efectivamente encontrar el óptimo de equipos a contratar, es decir, los rigs que balanceen el trade off costo de equipo versus costo de petróleo perdido (son los pozos esperando a repararse), planteamos la simulación para casos variables de 2 equipos a 6 equipos, lo cual arroja los siguientes resultados:

Rigs	Lost oil cost (\$)	Rig cost (\$)	Total cost (\$)
2.0	7,345.2	3,622.1	10,967.3
3.0	1,169.6	4,386.6	5,556.2
4.0	276.4	5,127.6	5,404.0
5.0	41.6	5,854.3	5,895.9
6.0	1.2	6,579.1	6,580.3



Rigs	Tiempo de espera (hs)	Tiempo de trabajo total (hs)	Eficiencia del sistema (%)	Ultimo Pozo arribado	Ultimo Pozo reparado
2	16,682.3	25,954.8	74.1	Pozo 878	Pozo 870
3	2,656.3	26,373.4	50.2	Pozo 886	Pozo 883
4	627.8	26,505.1	37.8	Pozo 893	Pozo 891
5	94.4	26,513.8	30.3	Pozo 889	Pozo 889
6	2.8	26,508.5	25.3	Pozo 889	Pozo 889

En este caso el óptimo de equipos a contratar es de 4 rigs, con sutiles variaciones en el costo total respecto de 3 rigs y 5 rigs, la cantidad de pozos reparados es básicamente la misma (se reparan todos los pozos que arriban), mientras que se observa un dispar comportamiento en la eficiencia del sistema, llegando al 50% en el caso de los 3 rigs, y disminuyendo a un 30% en el caso de 5 rigs.

Conclusión

La utilización de herramientas de simulación discreta ha demostrado ser un poderoso aliado al momento de establecer las mejores condiciones de contratación de servicios, en nuestro caso especificando claramente el impacto de las decisiones tomadas (cantidad de equipos, costo del rig, tasa de arribo de los pozos, ingresos diferidos asociados por pozo, etc.); por lo que se integran el departamento de Contratos/SCM (políticas de contratación, costos de servicios) con el de Operaciones (tiempos de arribo de pozos/fallas, población a servir) orientados al objetivo de lograr mejores resultados económicos para la organización.