



Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

Carrera de Computación

Algoritmos, Análisis y Programación Paralela

Unidad 2

Cluster de Computadoras

Estudiantes:

Luis Alberto Medina Chamba

Bayron Alejandro Jimenez Cango

Alexis Gradyne Ludeña Cueva

Gerardo Israel Herrera Campoverde

Nayely Cruzcaya Ramirez Herrera

Loja - Ecuador

2025



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

1859

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
CARRERA COMPUTACIÓN

Unidad 2

Actividad #1

TÍTULO: Entrega del clúster.

La construcción del clúster se realizó con el sistema operativo de código abierto, Ubuntu, la cual fue elegida debido a su robustez y a su soporte nativo para entornos de computación distribuida. Para su implementación física, se utilizaron dos computadoras como nodos del clúster y una computadora adicional para establecer el punto de conexión de red (punto de acceso).

Para garantizar una correcta implementación, gestión y operación del clúster, se emplearon diversas tecnologías y herramientas, entre las cuales se destacan:

1. **SSH (Secure Shell):** Habilita el acceso remoto de forma segura y permite la administración eficiente de los nodos que conforman el clúster.
2. **MPI (Message Passing Interface):** Framework estándar para la programación paralela y permite la comunicación y sincronización efectiva entre procesos distribuidos.
3. **GCC (GNU Compiler Collection):** Conjunto de compiladores empleado para desarrollar y compilar aplicaciones en C/C++ dentro del entorno MPI.
4. **Comandos de Red y Monitoreo del Sistema:** Se emplearon utilidades clave como *ping* para comprobar la conectividad entre los nodos, *scp* para la transferencia segura de archivos y *htop/top* para supervisar en tiempo real el uso de recursos del sistema, como: CPU, memoria y procesos.
5. **Grafana:** Plataforma de código abierto que permite visualizar y ejecutar el análisis de las métricas de rendimiento del clúster.
6. **Prometheus:** Conjunto de herramientas de código abierto para la monitorización del clúster, extrayendo datos de las aplicaciones, sistemas y servicios en ejecución, como: CPU y memoria, para su posterior visualización en Grafana.

Diagrama de Arquitectura Lógica

1. Distribución de Carga con MPI (Scatter/ Gather)

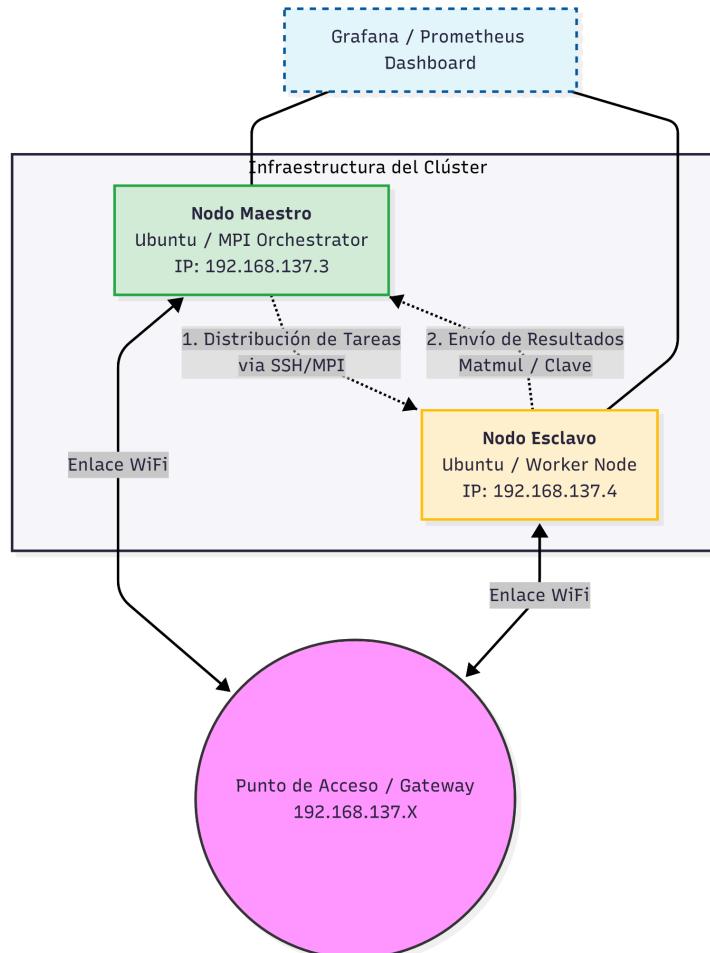
El nodo maestro divide la carga de trabajo y las distribuye a los nodos mediante MPI Scatter. Ambos nodos se calculan en paralelo y luego el maestro reúne los resultados con MPI Gather para formar la matriz final.

2. Análisis del Desempeño en Tiempo Real (Grafana y Prometheus)

Grafana y Prometheus muestran un aumento sincronizado del uso de CPU y red durante las fases de cómputo y comunicación. Esto confirma la correcta ejecución paralela y la estabilidad del clúster durante la transferencia de datos.

3. Justificación del Uso de SSH (Seguridad)

OpenSSH permitió la comunicación segura y la ejecución remota automatizada entre nodos MPI. La autenticación por claves garantizó seguridad y evitó intervención manual durante la ejecución distribuida.



Capturas de la Ejecución del Cluster

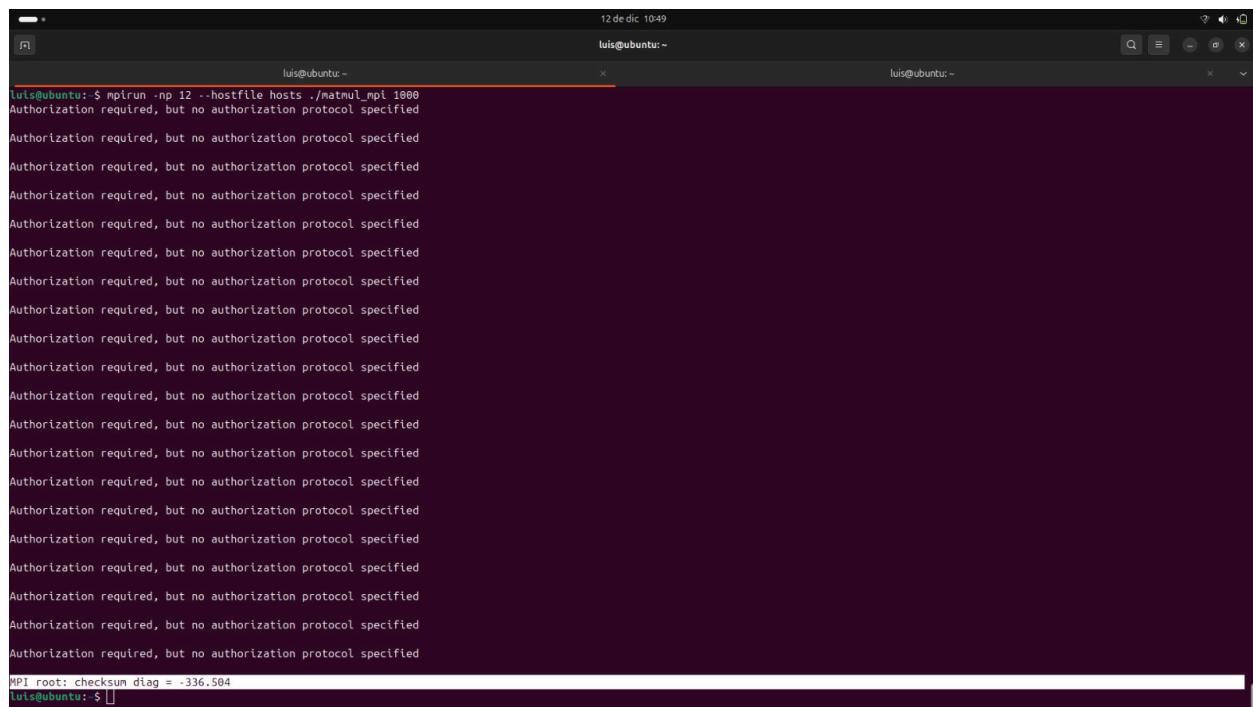
A continuación se adjuntan algunas capturas de pantalla de la ejecución del cluster, véase las figuras 2, 3, 4 donde se resuelve el problema de la multiplicación de matrices, para este problema se ocupó dos computadoras, una de ellas actuando como el nodo maestro y otro como el nodo esclavo, ambas computadoras conectadas a una misma red, en nuestro caso creada por un punto de acceso desde otra computadora tal como se muestra en la figura 1.

Nombre del dispositivo	Dirección IP	Dirección física (MAC)
ubuntu	192.168.137.8	30:f6:ef:2e:6d:7d
bayron-ubuntu	192.168.137.183	14:13:33:d8:ac:ed

Fig. 1 - Configuración de la Red y Punto de Acceso.

Algoritmo de Multiplicación de Matrices

Para la ejecución del algoritmo se utilizó el comando mpirun con 12 procesos distribuidos entre los nodos configurados en el archivo hosts.



The terminal window shows the command `mpirun -np 12 ./matmul_mpi 1000` being run. The output consists of multiple lines of text, each starting with "Authorization required, but no authorization protocol specified". At the bottom of the window, the message "MPI root: checksum diag = -336.504" is displayed.

```
luis@ubuntu:~$ mpirun -np 12 ./matmul_mpi 1000
Authorization required, but no authorization protocol specified
MPI root: checksum diag = -336.504
luis@ubuntu:~$
```

Fig. 2 - Despliegue del programa matmul_mpi mediante la interfaz MPI.

```

12 de dic 10:52
luis@ubuntu:~ top - 10:52:50 up 46 min, 1 user, load average: 3,35, 3,69, 2,65
Tasks: 445 total, 9 ejecutar, 436 hibernar, 0 detener, 0 zombie
KCPu(s): 37,7 us, 4,1 sy, 0,0 ni, 58,1 id, 0,0 wa, 0,0 hi, 0,0 si, 0,0 st
MB Mem : 15675,1 total, 11343,0 libre, 2697,4 usado, 2381,4 búf/caché
MB Intercambio: 4096,0 total, 4095,0 libre, 0,0 usado, 13067,7 dispon Mem

PID USUARIO PR NI VIRT RES SHR S %CPU %MEM HORA+ ORDEN
7931 luis 20 0 4743824 34180 18440 R 100,3 0,2 0:14.39 matmul_mpi
7918 luis 20 0 4759092 49692 18776 R 100,0 0,3 0:14.41 matmul_mpi
7919 luis 20 0 4743832 34184 18440 R 100,0 0,2 0:14.42 matmul_mpi
7920 luis 20 0 4743836 34152 18408 R 100,0 0,2 0:14.42 matmul_mpi
7921 luis 20 0 4743892 34252 18590 R 100,0 0,2 0:14.41 matmul_mpi
7923 luis 20 0 4743824 34176 18436 R 100,0 0,2 0:14.41 matmul_mpi
7926 luis 20 0 4743824 34312 18572 R 100,0 0,2 0:14.41 matmul_mpi
7928 luis 20 0 4743888 34136 18396 R 100,0 0,2 0:14.42 matmul_mpi
2687 luis 20 0 4662748 361584 152648 S 11,6 2,3 1:53.16 gnome-shell
4463 luis 20 0 2175448 215792 139684 S 9,3 1,3 0:50.77 gnome-control-c
2381 luis 20 0 24,9g 181064 119192 S 8,3 1,1 1:10.99 Xorg
4118 root 20 0 0 0 0 I 2,7 0,0 0:08.44 kworker/u80:39-1915
2736 luis 20 0 1126972 119652 95304 S 1,0 0,7 0:06.68 mutter-x11-fram
1324 root 20 0 335156 21420 17388 S 0,7 0,1 0:02.54 NetworkManager
7534 root 0 -20 0 0 0 D 0,7 0,0 0:00.49 kworker/u81:0+i915_flip
18 root 20 0 0 0 0 I 0,3 0,0 0:02.64 rcu_preempt
2880 luis 20 0 541048 12644 10596 S 0,3 0,1 0:01.12 gsd-sharing
3106 luis 20 0 387028 8376 7272 S 0,3 0,1 0:00.08 gvfs-afc-volume
3772 luis 20 0 853240 67948 43436 S 0,3 0,4 1:53.59 gnome-terminal-
7730 luis 20 0 12236 6220 3998 R 0,3 0,0 0:00.69 top
7893 root 20 0 0 0 0 I 0,3 0,0 0:00.14 kworker/17:5-1915-unordered
1 root 20 0 23512 14680 9464 S 0,0 0,1 0:02.39 systemd
2 root 20 0 0 0 0 S 0,0 0,0 0:00.01 kthreadd
3 root 20 0 0 0 0 S 0,0 0,0 0:00.00 pool_workqueue_release
4 root 0 -20 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00.00 kworker/R-rcu_gp
5 root 0 -20 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00.00 kworker/R-sync_wq
6 root 0 -20 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00.00 kworker/R-kvfree_rcu_reclaim
7 root 0 -20 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00.00 kworker/R-slub_flushwq
8 root 0 -20 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00.00 kworker/R-netsns
10 root 0 -20 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00.00 kworker/0:0H-events_highpri
13 root 0 -20 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00.00 kworker/R-mm_percpu_wq
14 root 20 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00.00 rcu_tasks_kthread
15 root 20 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00.00 rcu_tasks_rude_kthread
16 root 20 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00.00 rcu_tasks_trace_kthread
17 root 20 0 0 0 0 S 0,0 0,0 0:00.05 ksftftrqd/0
19 root 20 0 0 0 0 S 0,0 0,0 0:00.00 rcu_exp_par_rq_kthread_worker/1

```

Fig. 3 - Monitorización de recursos mediante el comando top.

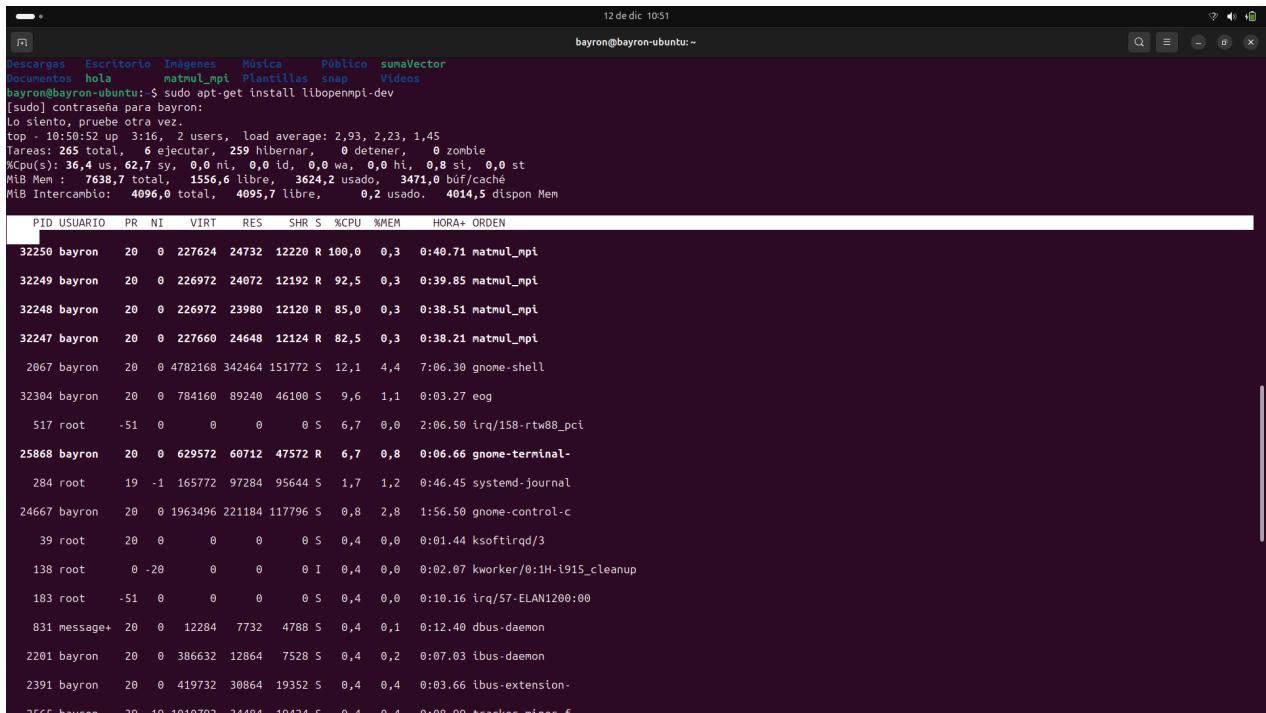
```

12 de dic 10:54
luis@ubuntu:~ mpirun -np 12 --hostfile hosts ./matmul_mpi 1000
Authorization required, but no authorization protocol specified
MPI root: checksum diag = -336.504
luis@ubuntu:~ 

```

Fig. 4 - Resultados obtenidos de la ejecución del clúster (nodo maestro).

En la figura 5, se observa la ejecución del clúster desde el nodo esclavo. Posteriormente a la instalación de las tecnologías requeridas (openmpi y openssh) se lista los documentos compartidos por el nodo maestro con **ls** y se dispone a ejecutar lo que le disponga el maestro. Con el comando **top** se visualiza los procesos en ejecución y entre los primeros destaca “matmul_mpi” que fue ejecutado por el maestro en este nodo.



```

12 de dic 10:51
bayron@bayron-ubuntu:~ - 
Descargas Escritorio Imágenes Música Público sumaVector
Documentos hola matmul_mpi Plantillas snap Vídeos
bayron@bayron-ubuntu:~ $ sudo apt-get install libopenmpi-dev
[sudo] contraseña para bayron:
Lo siento, pruebe otra vez.
top - 10:50:52 up 3:16, 2 users, load average: 2,93, 2,23, 1,45
Tareas: 265 total, 6 ejecutar, 259 hibernar, 0 detener, 0 zombie
%Cpu(s): 36,4 us, 62,7 sy, 0,0 ni, 0,0 id, 0,0 wa, 0,0 hi, 0,8 si, 0,0 st
MIB Mem : 7638,7 total, 1556,6 libre, 3624,2 usado, 3471,6 búf/caché
MIB Intercambio: 4096,0 total, 4095,7 libre, 0,2 usado. 4014,5 dispon Mem
PID USUARIO PR NI VIRT RES SHR S %CPU %MEM HORA+ ORDEN
32250 bayron 20 0 227624 24732 12220 R 100,0 0,3 0:40.71 matmul_mpi
32249 bayron 20 0 226972 24072 12192 R 92,5 0,3 0:39.85 matmul_mpi
32248 bayron 20 0 226972 23980 12120 R 85,0 0,3 0:38.51 matmul_mpi
32247 bayron 20 0 227660 24648 12124 R 82,5 0,3 0:38.21 matmul_mpi
2067 bayron 20 0 4784168 342464 151772 S 12,1 4,4 7:06.30 gnome-shell
32304 bayron 20 0 784160 89240 46100 S 9,6 1,1 0:03.27 eog
517 root -51 0 0 0 0 S 6,7 0,0 2:06.50 irq/158-rtw88_pci
25868 bayron 20 0 629572 60712 47572 R 6,7 0,8 0:06.66 gnome-terminal-
284 root 19 -1 165772 97284 95644 S 1,7 1,2 0:46.45 systemd-journal
24667 bayron 20 0 1963496 221184 117796 S 0,8 2,8 1:56.50 gnome-control-c
39 root 20 0 0 0 0 S 0,4 0,0 0:01.44 ksoftirqd/3
138 root 0 -20 0 0 0 I 0,4 0,0 0:02.07 kworker/0:1H-i915_cleanup
183 root -51 0 0 0 0 S 0,4 0,0 0:10.16 irq/57-ELAN1200:00
831 message+ 20 0 12284 7732 4788 S 0,4 0,1 0:12.40 dbus-daemon
2201 bayron 20 0 386632 12864 7528 S 0,4 0,2 0:07.03 ibus-daemon
2391 bayron 20 0 419732 30864 19352 S 0,4 0,4 0:03.66 ibus-extension-
2565 bayron 20 10 1010702 34494 10424 S 0,4 0,4 0:08.00 tracker-miner-f

```

Fig. 5 - Resultados obtenidos de la ejecución del clúster (nodo esclavo).

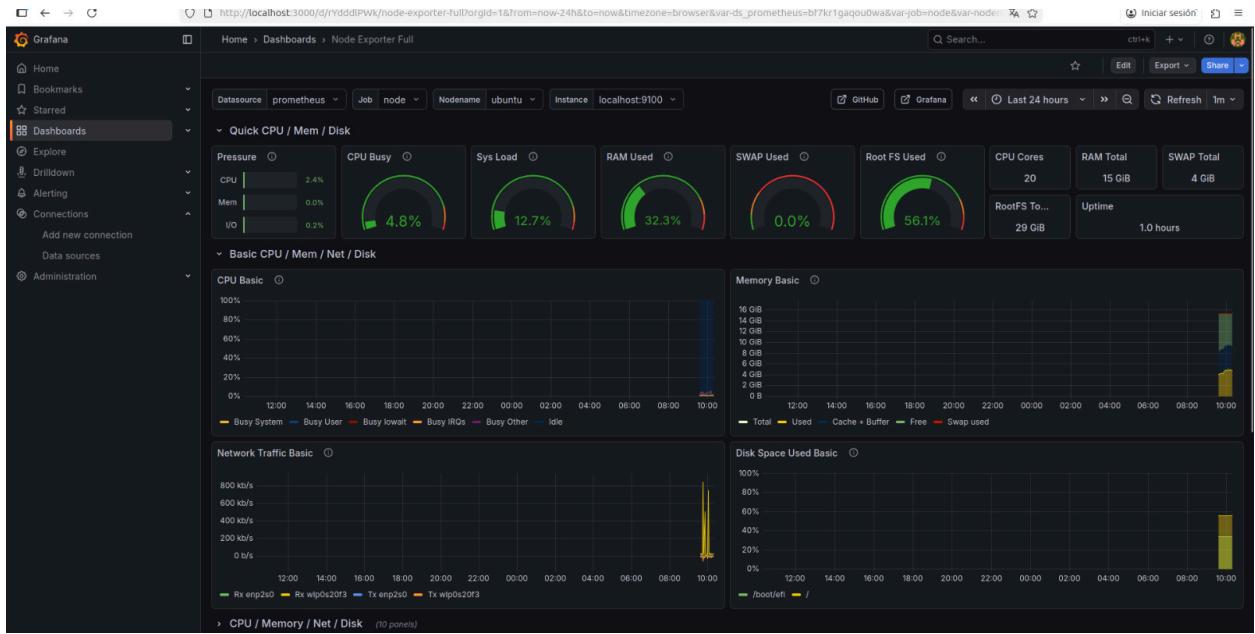


Fig. 6 - Métricas de rendimiento mediante la herramienta Grafana (nodo padre)

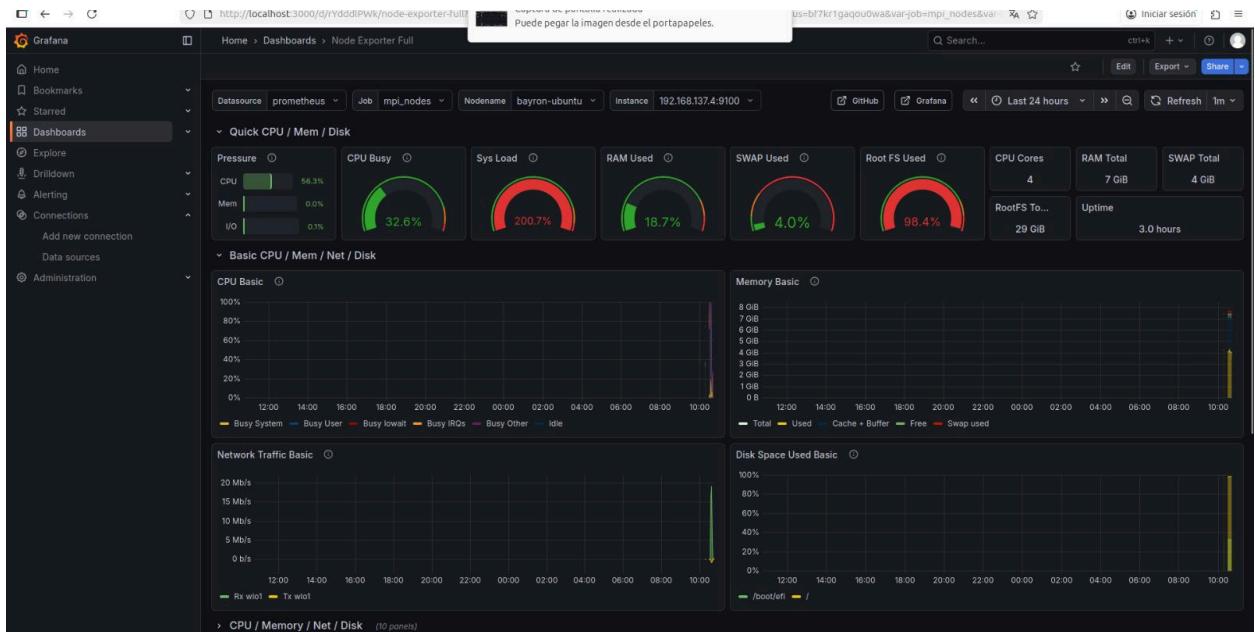


Fig. 7 - Métricas de rendimiento mediante la herramienta Grafana (nodo esclavo)

Algoritmo de Fuerza Bruta Alfanumérico

El algoritmo de Fuerza Bruta Alfanumérico es un método de ataque o resolución de problemas (como la búsqueda de una contraseña o clave de cifrado) que funciona probando sistemáticamente cada posible combinación de caracteres (letras y números) hasta encontrar la correcta. Este algoritmo se implementó para distribuir la carga de trabajo (el espacio total de claves a probar) entre los diferentes nodos del clúster, permitiendo que cada nodo explore una porción del espacio de búsqueda de forma simultánea. Esto reduce significativamente el tiempo total necesario para encontrar la solución.

Fig. 8 - Ejecución del algoritmo de Fuerza Bruta Alfanumérico.

```

luis@ubuntu:~ top - 18:44:11 up 1:25, 1 user, load average: 1,31, 2,69, 3,56
Tareas: 493 total, 9 ejecutar, 484 hibernar, 0 detener, 0 zombie
%Cpus(s): 3,7 us, 0,5 sy, 0,0 ni, 95,8 id, 0,0 wa, 0,0 hi, 0,0 si, 0,0 st
MB Mem : 15675,1 total, 9181,6 libre, 3554,4 usado, 3883,5 búf/cache
MB Intercambio: 4096,0 total, 4095,7 libre, 0,2 usado, 12120,7 dispon Mem

PID USUARIO PR NI VIRT RES SHR S %CPU %MEM HORA+ ORDEN
20411 luis 20 0 27616 1916 1776 R 12,6 0,0 0:00:38 fuerzaBrutaAlfa
20415 luis 20 0 27616 1984 1844 R 10,9 0,0 0:00:33 fuerzaBrutaAlfa
20403 luis 20 0 27616 1984 1844 R 10,6 0,0 0:00:32 fuerzaBrutaAlfa
20407 luis 20 0 27616 1916 1776 R 10,6 0,0 0:00:32 fuerzaBrutaAlfa
20396 luis 20 0 4699176 25756 17792 S 6,0 0,2 0:00:18 mpiRun
20419 luis 20 0 27616 1988 1844 R 6,0 0,0 0:00:18 fuerzaBrutaAlfa
20424 luis 20 0 27616 1984 1844 R 4,3 0,0 0:00:13 fuerzaBrutaAlfa
20402 luis 20 0 14700 8632 7276 S 3,3 0,1 0:00:10 ssh
20423 luis 20 0 27616 1916 1780 R 3,3 0,0 0:00:10 fuerzaBrutaAlfa
20431 luis 20 0 27616 1988 1844 R 3,0 0,0 0:00:09 fuerzaBrutaAlfa
2459 luis 20 0 24,9g 1808628 118692 S 2,6 1,1 5:42.22 Xorg
2780 luis 20 0 4793800 358740 152852 S 2,3 2,2 8:24.59 gnome-shell
18912 luis 20 0 842332 57496 44016 S 1,3 0,4 0:03:11 gnome-terminal-
347 root -51 0 0 0 0 0 1,0 0,0 0:33:10 irq/152-VEN_06CB:00
153 root -51 0 0 0 0 0 0,7 0,0 0:43:45 irq/qapi
1126 root 20 0 422536 10992 9824 S 0,7 0,1 0:23:07 thermal
7066 grafana 20 0 1888084 308692 187232 S 0,7 1,9 0:42:36 grafana
13248 luis 20 0 8432 6864 5196 S 0,7 0,0 0:00:22 ssh-agent
20294 luis 20 0 12236 292 S 3924 R 0,7 0,0 0:00:17 top
75 root rt 0 0 0 0 0 0,3 0,0 0:01:27 migration/15
2324 luis 9 -11 132372 30824 11864 S 0,3 0,2 0:01:84 pipewire-pulse
2816 luis 20 0 1213800 133840 107396 S 0,3 0,8 0:19:10 nutter-x11-fram
2875 luis 20 0 386656 12940 7452 S 0,3 0,1 0:16:69 ibus-daemon
3024 luis 20 0 421000 34948 28528 S 0,3 0,2 0:04:31 ibus-extension-
3216 luis 20 0 234556 7896 7996 S 0,3 0,0 0:03:77 ibus-engine-slm
18722 root 20 0 0 0 0 0 0,1 0,3 0,0 0:00:16 kworker/u88:0-events_unbound
1 root 20 0 23832 14944 9400 S 0,0 0,1 0:00:50 systemd
2 root 20 0 0 0 0 0 0,0 0,0 0:00:03 kthreadd
3 root 20 0 0 0 0 0 0,0 0,0 0:00:00 pool_workqueue_release
4 root 0 -20 0 0 0 0 0,0 0,0 0:00:00 kworker/R-rcu_gp
5 root 0 -20 0 0 0 0 0,0 0,0 0:00:00 kworker/R-sync_wq
6 root 0 -20 0 0 0 0 0,0 0,0 0:00:00 kworker/R-kvfree_rcu_reclaim
7 root 0 -20 0 0 0 0 0,0 0,0 0:00:00 kworker/R-slub_flushwq
8 root 0 -20 0 0 0 0 0,0 0,0 0:00:00 kworker/R-netns
10 root 0 -20 0 0 0 0 0,0 0,0 0:00:00 kworker/0:0H-events_highpri

```

Fig. 9 - Monitorización de recursos mediante el comando top.

```

bayron@bayron-ubuntu:~/node_exporter-1.7.0.linux-amd64 19 dic 10:43
top - 10:43:16 up 2:59, 2 users, load average: 2,90, 2,09, 2,68
Tareas: 302 total, 5 ejecutar, 296 hibernar, 0 detener, 1 zombie
%Cpus(s): 99,2 us, 0,7 sy, 0,0 ni, 0,0 id, 0,0 wa, 0,0 hi, 0,1 sl, 0,0 st
MB Mem : 7636,7 total, 308,9 libre, 5515,3 usado, 3054,3 búf/cache
MB Intercambio: 4096,0 total, 3877,8 libre, 218,2 usado, 2123,5 dispon Mem

PID USUARIO PR NI VIRT RES SHR S %CPU %MEM HORA+ ORDEN
24056 bayron 20 0 27612 2064 1928 R 108,3 0,0 0:07:12 fuerzaBrutaAlfa
24051 bayron 20 0 27612 2068 1928 R 96,4 0,0 0:07:09 fuerzaBrutaAlfa
24055 bayron 20 0 27612 2064 1928 R 95,7 0,0 0:07:30 fuerzaBrutaAlfa
24060 bayron 20 0 27612 2004 1864 R 86,4 0,0 0:06:56 fuerzaBrutaAlfa
2047 bayron 20 0 4514168 237468 95708 S 2,0 3,0 19:53:89 gnome-shell
283 root 19 -1 91812 43404 42480 S 1,7 0,6 12:13:71 systemd-journal
12998 bayron 20 0 3840344 325348 104908 S 1,3 4,2 0:55:03 isolated Web Co
595 root -51 0 0 0 0 0 0,7 0,0 2:47:05 irq/158-rtw88_pci
931 root 20 0 334808 19036 15440 S 0,7 0,2 0:13:75 NetworkManager
2214 bayron 20 0 541188 10696 9656 S 0,7 0,1 0:06:13 gsd-sharing
4825 bayron 20 0 642672 54368 41184 S 0,7 0,7 0:31:27 gnome-terminal-
9948 bayron 20 0 3830084 312624 101488 S 0,7 4,0 1:50:38 isolated Web Co
23133 bayron 20 0 12240 6276 3976 R 0,7 0,1 0:01:30 top
826 message+ 20 0 12464 7652 4612 S 0,3 0,1 0:21:64 dbus-daemon
932 root 20 0 18264 11984 10348 S 0,3 0,2 0:05:66 wpa_supplicant
2778 bayron 20 0 13,7g 686484 254756 S 0,3 8,8 57:59:21 firefox
9237 bayron 20 0 3805720 291076 101100 S 0,3 3,7 1:27:78 isolated Web Co
9534 bayron 20 0 3492204 86736 70356 S 0,3 1,1 0:03:96 isolated Web Co
9574 bayron 20 0 3490168 82900 66964 S 0,3 1,1 0:04:81 isolated Web Co
11286 bayron 20 0 2685136 128564 64064 S 0,3 1,6 0:29:70 gnome-control-c
13239 bayron 20 0 3972884 483716 106624 S 0,3 6,2 4:56:62 isolated Web Co
20050 root 20 0 0 0 0 0 I 0,3 0,0 0:00:56 kworker/0:1-events
20281 root 20 0 0 0 0 0 I 0,3 0,0 0:01:50 kworker/u16:4-events_unbound
21762 root 20 0 23528 14824 9644 S 0,0 0,2 0:29:48 systemd
1 root 20 0 0 0 0 0 S 0,0 0,0 0:00:01 kthreadd
2 root 20 0 0 0 0 0 S 0,0 0,0 0:00:00 pool_workqueue_release
4 root 0 -20 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00:00 kworker/R-rcu_gp
5 root 0 -20 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00:00 kworker/R-sync_wq
6 root 0 -20 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00:00 kworker/R-kvfree_rcu_reclaim
7 root 0 -20 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00:00 kworker/R-slub_flushwq
8 root 0 -20 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00:00 kworker/R-netns
10 root 0 -20 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00:00 kworker/0:0H-events_highpri
13 root 0 -20 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00:00 kworker/R-mm_percpu_wq
14 root 20 0 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00:00 rCU_tasks_kthread
15 root 20 0 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00:00 rCU_tasks_rude_kthread
16 root 20 0 0 0 0 0 I 0,0 0,0 0:00:00 rCU_tasks_trace_kthread
17 root 20 0 0 0 0 0 S 0,0 0,0 0:00:95 ksoftirqd/0

```

Fig. 10 - Monitorización de recursos mediante el comando top (nodo esclavo).