



UNIVERSIDAD
REY JUAN CARLOS

GRADO EN INGENIERÍA DE COMPUTADORES

Curso Académico 2017/2018

Trabajo Fin de Grado

DESPLIEGUE ELÁSTICO DE TESTS DE RENDIMIENTO

Autor : Marcos Tenrero Morán

Tutor : Francisco Gortázar

*Dedicado a
mi familia / mi abuelo / mi abuela*

Agradecimientos

Resumen

Aquí viene un resumen del proyecto. Ha de constar de tres o cuatro párrafos, donde se presente de manera clara y concisa de qué va el proyecto. Han de quedar respondidas las siguientes preguntas:

- ¿De qué va este proyecto? ¿Cuál es su objetivo principal?
- ¿Cómo se ha realizado? ¿Qué tecnologías están involucradas?
- ¿En qué contexto se ha realizado el proyecto? ¿Es un proyecto dentro de un marco general?

Lo mejor es escribir el resumen al final.

Índice general

1. Introducción y Motivación	1
1.1. Despliegue tradicional de Apache JMeter	3
2. Objetivos	7
3. Metodologías	9
3.1. Extreme Programming	9
3.2. Kanban	10
4. Tecnologías y Herramientas	11
4.1. Golang	11
4.2. Dep: Go Dependency Management	11
4.3. Goa Design: Design-first Network framework	12
4.4. OpenAPI Specification	12
4.5. DNS	13
4.5.1. DNS Round-Robin	13
4.6. Contenedores	13
4.6.1. LXC: Linux Containers	13
4.6.2. Docker	14
4.7. Apache JMeter	15
4.8. ElasticSearch	16
4.9. Sistema de ficheros distribuido	16
4.9.1. Samba	16
4.9.2. GlusterFS	16
4.10. AWS: Amazon Web Services	17

4.11. Sistemas de Integración Continua	17
4.11.1. TravisCI	17
4.11.2. Jenkins	18
5. Descripción informática	19
5.1. Requisitos	19
5.2. Arquitectura y Análisis	20
5.2.1. Primer enfoque: Starter en cada imagen a desplegar	20
5.2.2. Segundo enfoque: Single Daemon y DNS Round Robin	21
5.2.3. Estructura del proyecto	21
5.2.4. Apache JMeter dockerizado	22
5.3. Diseño e Implementación	23
5.3.1. API REST y modelo de datos	23
5.3.2. Docker Middleware	25
5.3.3. Fase de orquestación	26
5.3.4. Almacenamiento de datos	28
5.3.5. Imágenes Docker	30
5.3.6. Service Discovery	30
5.4. Integración Continua	30
5.5. Pruebas	31
5.5.1. Tecnologías utilizadas	32
5.5.2. Cobertura de tests	33
6. Conclusiones y trabajos futuros	35
Bibliografía	37
A. Manual de usuario	39
B. Fragmentos de código	41

Índice de figuras

3.1. Tablero Kanban del proyecto en GitHub	10
--	----

Capítulo 1

Introducción y Motivación

La última era de la informática no ha parado de evolucionar durante las últimas décadas, han surgido y se han puesto en práctica diversas metodologías en el desarrollo del software, desde el modelo de procesos hasta las más actuales como las denominadas metodologías ágiles, formadas por una serie de técnicas y de métodos como Extreme Programming , Kanban o Scrum.

En la actualidad, el uso de las metodologías ágiles está en auge, y esto conlleva la adopción de una nueva manera de concebir la informática, dando prioridad a fases que antes no se tenían en cuenta, como es el caso de la fase de testing.

En el mundo del desarrollo del software, el testing, es quizás, una de las partes más importantes del ciclo, ya que permiten asegurar la estabilidad del producto entre las diferentes iteraciones del desarrollo.

Dentro de esta etapa, existen diversos tipos de pruebas a realizar, pero este trabajo de fin de grado se centra en las pruebas de rendimiento.

En términos de calidad de software, a la hora de realizar un test, se tiene muy en cuenta la pirámide de test, la cual pretende dar unas guías generales a tener en cuenta con respecto a la cantidad de test que se deberían desarrollar para un proyecto, teniendo en cuenta su complejidad de codificación y mantenimiento.

Normalmente se sitúan en la cima esta pirámide los tests de sistema o End-To-End (E2E) ya que el coste de éstos es muy elevado al requerir que todos los componentes de la aplicación se encuentren operativos en el momento de realización de las pruebas y al ser más frágiles. Los test de rendimiento se encuentran justo en esta cima.

El análisis del rendimiento que ofrece una aplicación es crucial para poder comprobar que ésta escala de una manera apropiada con diferentes cargas de trabajo. Normalmente, es un aspecto que se suele olvidar en las etapas iniciales del desarrollo, ya que es un factor que suele preocupar más en aplicaciones que ya tienen una considerable carga.

No solo es una etapa relegada debido a que no suele ser un factor preocupante en las primeras iteraciones del desarrollo, sino que también resulta complicado el establecer una infraestructura para poder ejecutar, y sobre todo, mantener este tipo de tests.

Este trabajo cubre la realización de una herramienta de ayuda en el proceso del análisis de rendimiento de cualquier aplicación. Pretende ofrecer una manera sencilla de ejecutar estos test de manera automática y distribuida sin tener que preocuparse de la infraestructura subyacente necesaria.

Normalmente, con los test de rendimiento se pretende simular una gran carga de trabajo sobre la aplicación y esto se traduce en muchas conexiones simultáneas a la misma, y para ello, se necesitan diversos nodos para poder distribuir esta simulación de carga.

La parte mas tediosa de trabajar con diversos nodos es la configuración de éstos para que estén preparados para realizar su cometido.

Por ello, para una efectiva gestión, es necesario poder desplegar y ejecutar estos tests de manera sencilla, y la única manera de hacerlo ágilmente, es contemplar el paradigma de cloud computing, que aporta el concepto de contenedores y un despliegue rápido de infraestructura bajo demanda.

La herramienta que se ha desarrollado durante la realización de este trabajo de fin de grado añade una capa de abstracción a la tecnología de orquestación de contenedores por excelencia, Docker. Lo que se traduce en la posibilidad de ejecutar cualquier tipo de aplicación que requiera este modelo de despliegue, aunque como ejemplo, se ha tomado como referencia la herramienta Apache JMeter.

Por otra parte, llevo cerca de dos años trabajando en el departamento de automatización y calidad de software en una empresa multinacional de desarrollo de software, estando estos valores y premisas muy presentes en mi vida laboral. En los últimos meses, el análisis de rendimiento ha sido un objetivo muy importante en esta empresa, y mi labor se ha centrado en gran medida en esta tarea, diseñando y desplegando toda la infraestructura necesaria para poner en práctica el proyecto.

Este hecho me ha permitido probar en primera línea los avances sobre mi trabajo de fin de grado en un entorno empresarial real.

1.1. Despliegue tradicional de Apache JMeter

Apache JMeter tiene diversos modos de funcionamiento, ya que ofrece dos interfaces, una gráfica y otra por línea de comandos. Para aprovechar varios nodos y poder lanzar un test de carga de forma distribuida, es necesario ejecutar la aplicación en modo nodo esclavo en cada uno de los nodos remotos en los que se va a ejecutar el test.

Por otro lado, estos nodos deben estar visibles entre sí dentro de la red, lo que implica una configuración manual del firewall para poder así abrir los puertos necesarios.

Un despliegue típico consistiría en los siguientes pasos:

Descarga de Apache JMeter

Bien via repositorio de paquetes *Debian* o *Red-Hat based* o vía fichero comprimido con los binarios pre-compilados por la fundación Apache.

Como ejemplo se va usar una distribución CentOS 7, basada en RedHat utilizando los binarios disponibles desde la página oficial de JMeter.

```
$ wget https://archive.apache.org/dist/jmeter/binaries/\
apache-jmeter-3.3.zip
$ unzip jmeter-3.3.zip
```

Con estos comandos se dispondría de los binarios de JMeter preparados para ser ejecutados en prácticamente cualquier sistema UNIX.

Configuración del firewall

JMeter requiere que el firewall esté correctamente configurado para permitir la comunicación entre nodos, esto implica la apertura de diversos puertos como **1099,1664** entre otros, ya que depende de la configuración que se realice sobre JMeter.

Dependiendo de la distribución sobre la que realizar las configuraciones, se usará un comando u otro, los más típicos son los siguientes:

Ubuntu UFW

```
$ ufw allow <port>/tcp
```

IP Tables

```
$ iptables -A INPUT -p tcp --dport <port> -j ACCEPT
```

Firewall-cmd

```
$ firewall-cmd --zone=public --add-port=<port>/tcp --permanent
```

Tratar con la complejidad de la configuración del firewall y de la red se vuelve realmente complejo y más cuando se dispone de una gran cantidad de nodos y éstos son heterogéneos en lo que a Sistema Operativo se refiere.

Despliegue de esclavos

Apache JMeter requiere de un orden de arranque específico, primero deben arrancarse los nodos esclavos con el siguiente comando:

```
$ ./jmeter-server -Dserver.rmi.localport=4445 -Dserver.port=1099
```

Este comando debe ser ejecutado en cada uno de los nodos que vayan a ser empleados como esclavos.

Arranque del nodo Maestro

Es necesario manejar y actualizar constantemente la lista de las direcciones de los nodos a los que se conectarse a través del nodo maestro para ejecutar un test de carga distribuido ya que es necesario especificar explícitamente los nodos remotos.

Para ejecutar un test de carga distribuido, una vez que la infraestructura previa está correctamente configurada, basta con ejecutar un comando similar al siguiente:

```
$ ./jmeter -n -t $TEST_PATH -R$REMOTES -Dserver.rmi.localport=60000
```

Publicación de resultados

Es posible especificar un *Listener* durante la ejecución del nodo maestro junto al test para así poder exportar en tiempo real los resultados del test a un sistema externo como *Apache Kafka*, *ElasticSearch*, una base de datos entre otros.

Consideraciones adicionales: Cifrado de comunicaciones

Es común utilizar un cifrado SSL o TLS en las comunicaciones de red, y JMeter permite encriptar las comunicaciones entre los diferentes nodos con SSL¹. Esto requiere de la generación de certificados y de un almacén de claves, lo que dificulta, aun mas, el despliegue de un clúster de forma tradicional.

¹https://jmeter.apache.org/usermanual/remote-test.html#setup_ssl

Capítulo 2

Objetivos

El propósito general de este trabajo es permitir de una manera sencilla y agnóstica poder ejecutar tests de rendimiento de manera distribuida, con capacidad de crecimiento horizontal en cualquier entorno, incluso en una nube privada y con independencia del sistema operativo ya que en el mundo empresarial, es un requisito bastante demandado.

Existen múltiples herramientas para poder ejecutar tests de rendimiento, incluso de forma distribuida, pero la mayoría requieren una configuración previa nodo a nodo, lo que obliga a una configuración manual de éstos y tener en cuenta la configuración de red entre ellos.

Para poder ofrecer una funcionalidad descrita en los párrafos anteriores, se ha optado por apoyarse en Docker, y en su modo de funcionamiento como clúster, Docker Swarm, lo que ofrece una nube privada creada a partir de las máquinas o nodos que el usuario considere, siendo posible crear un clúster heterogéneo en caso de ser necesario. Permitiendo una gran flexibilidad y haciendo posible el despliegue en diversas arquitecturas.

Las funcionalidades principales que ofrece el framework son las siguientes:

- Interfaz sencilla para el usuario (REST)
- Orquestación de contenedores, redes y volúmenes de forma transparente
- Carácter efímero y reusable de la infraestructura

Conseguir las funcionalidades descritas conlleva cumplir una serie de objetivos intermedios:

- Construir un Middleware que comunique con la API que expone el demonio de Docker
- Diseñar un plan de acción para la orquestación de contenedores
- Descubrir la configuración de red apropiada para el carácter de la aplicación
- Diseñar una API REST para el consumidor
- Construir un proceso de orquestación de recursos Docker

Además he fijado una serie de requisitos metodológicos para asegurar un desarrollo con la forma mas práctica posible.

- Integración continua desde el comienzo del proyecto
- Gestión ágil del proyecto
- Test-Driven-Development

Capítulo 3

Metodologías

Este proyecto ha seguido la filosofía de las metodologías ágiles, es decir, un desarrollo e incremental.

Dado el carácter dinámico de la disponibilidad del tiempo, se ha optado por una planificación **Kanban**, una vez definidos los requisitos y plan de acción del proyecto.

Además ha sido vital afrontar la filosofía DevOps integrando desde el comienzo del proyecto la integración continua, para asegurar la salud del producto con cada nueva iteración, ya que al trabajar directamente con la API del demonio de Docker, cualquier mínimo cambio afectaba al resto del proyecto.

3.1. Extreme Programming

Extreme Programming es una práctica bastante extendida en el mundo del desarrollo de software. Obliga a definir la estructura del código e incluso los tests antes de desarrollar el producto final, de tal manera, en primer lugar se diseñan y se implementan los tests, los cuales fallarán hasta que la funcionalidad esté implementada completamente.

Esta metodología obliga al programador a pensar en el diseño en un primer lugar, dotando al software de mas calidad.

3.2. Kanban

Kanban es un modelo ágil de organización del desarrollo de software que se caracteriza en la división de las tareas en diferentes estados, típicamente, *PENDIENTE*, *EN PROGRESO* y *TERMINADO*.

Se ha utilizado la gestión de proyectos en el propio repositorio que ofrece la plataforma GitHub¹ para que estuviese disponible para la comunidad de forma sencilla. Además ofrece sincronización automática de tareas basada en *Issues* y *Pull Requests*.

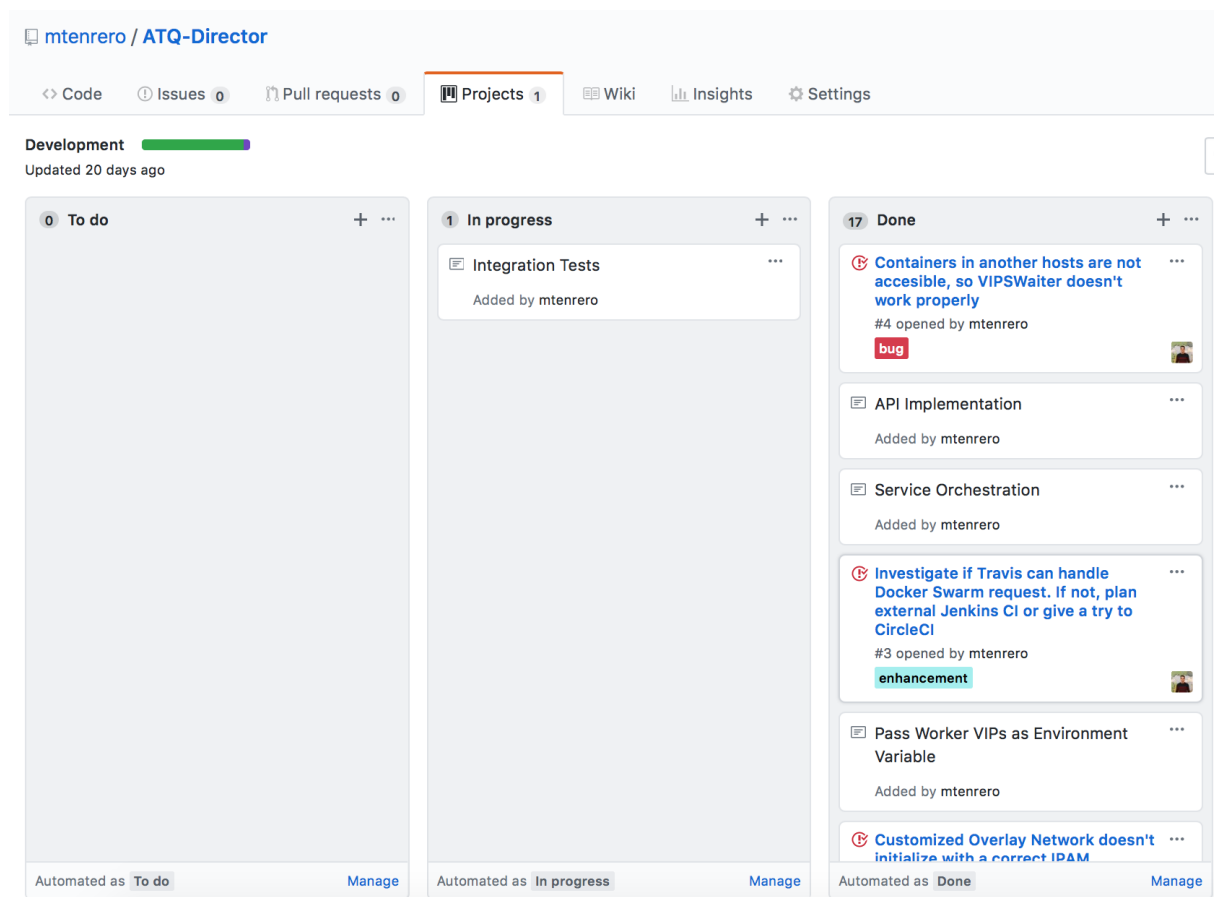


Figura 3.1: Tablero Kanban del proyecto en GitHub

¹<https://github.com/mtenrero/ATQ-Director/projects/1>

Capítulo 4

Tecnologías y Herramientas

4.1. Golang

Go es un lenguaje de programación que se comenzó a desarrollar en 2007 [11] y nació con el ideal de eliminar todos los obstáculos de la programación actual [4], ya que desde hace varios años no había sido desarrollado ningún lenguaje de programación de alta importancia. Se necesitaba que estuviese diseñado por completo, teniendo en cuenta factores de la informática actual, como la concurrencia o la rapidez en la compilación y en la codificación.

Los orígenes de Go se remontan a los lenguajes Oberon 2 , C y Alef [4]. Nace como un proyecto de Google como solución para la codificación de soluciones complejas.

Como particular característica [10], Go es un lenguaje de programación con recolector de basura, para permitir así trabajar de una forma correcta con la concurrencia de las aplicaciones.

El compilador de Go se ideó de tal forma para que fuese compatible nativamente con todos los Sistemas Operativos, introduciendo el cross-compile (Compilación para otras plataformas o arquitecturas en un único Sistema Operativo) como uno de sus puntos fuertes.

4.2. Dep: Go Dependency Management

Uno de los puntos fuertes de *Go*, es la gestión de dependencias durante la compilación [10]. Sin embargo, de cara al desarrollador, por defecto, carece de un fichero a nivel global de proyecto para poder definir las dependencias del mismo y/o la versión con la que se desea trabajar, sino

que se debe especificar a través de sentencias *import* en los ficheros *.go* del código. Además, para poder usar esas dependencias, es necesario que estén presentes en el `$GOPATH` del sistema.

Dep nace como un experimento de *Golang*¹, preparada para usar en producción, aunque sin llegar a ser la herramienta oficial de gestión de dependencias a nivel de proyecto/usuario. Emplea un fichero TOML en la raíz del proyecto, en él se indica la dependencia requerida, su versión e incluso la rama del control de versiones desde la cual obtener los paquetes.

4.3. Goa Design: Design-first Network framework

Goa² es un framework completo para construir microservicios en Go que invierte la forma de construir APIs web completamente. Posee generación automática de código y documentación.

Es un framework enfocado al diseño de la API en primer lugar, y es lo que hace a este framework único. Posee su propio lenguaje DSL (lenguaje descriptivo) en el que antes de codificar, obliga al programador a pensar en el diseño de la API, ya que esta debe ser definida en un primer lugar. Permite definir desde el endpoint, el contenido que consumirá y los parámetros que recibirá.

4.4. OpenAPI Specification

OpenAPI es una especificación mantenida e ideada por la comunidad Open-Source en la plataforma GitHub³, independiente de cualquier lenguaje de programación, que permite definir cualquier tipo con toda la especificación completa de una API, para que sea comprensible, tanto para personas como para ordenadores, ya que se basa en ficheros JSON y YAML.

¹<https://github.com/golang/dep>

²<https://goa.design>

³<https://github.com/OAI/OpenAPI-Specification>

4.5. DNS

Domain Name System es un sistema de nombrado de redes IP que se utiliza para resolver nombres en direcciones IP. El servicio de resolución de nombres puede tener diferentes tipos de registros. En la investigación del trabajo sólo se han usado registros de tipo **A**, los cuales traducen un nombre en una o varias direcciones IP, dependiendo de los registros A que tenga almacenados para un mismo nombre de dominio o subdominio.

4.5.1. DNS Round-Robin

DNS Round-Robin es un algoritmo de selección de IP, en el que con cada petición que realiza el usuario, se obtiene una lista completa de todas las direcciones IP registradas en el servidor de nombres ordenada de tal forma que nunca recibe la misma IP, realizando, de esta manera, labores de balanceador de carga.

Docker implementa este algoritmo de forma alternativa en su DNS interno, y el desarrollador puede elegir si desea operar con DNS Round Robin o con *Routing Mesh*, balanceo de carga interno, donde el nombre es resuelto con una única IP Virtual de manera no determinista.

Cuando se opta por usar el modo DNS Round-Robin, por limitaciones de diseño, resulta imposible exponer puertos hacia el host, únicamente se permiten conexiones de red con las redes indicadas por el servicio.

4.6. Contenedores

Los contenedores son un nuevo tipo de virtualización ligera de Sistemas Operativos que no requieren la emulación de instrucciones en el procesador, reduciendo así el consumo de recursos sin prescindir del aislamiento necesario presente en la virtualización tradicional [5].

4.6.1. LXC: Linux Containers

LXC es un tipo de virtualización basada en contenedores, usa el espacio de nombres de kernel y cgroups para asegurar el aislamiento de los contenedores, aunque los contenedores comparten el kernel con el Sistema Operativo del host [8].

4.6.2. Docker

Docker añade una capa para gestionar las redes de los contenedores dotándolos de una IP propia y el sistema de ficheros a LXC. Permite especificar imágenes de contenedores autocontenidas y gestionar el ciclo de vida de ellos. [5] [2]. Introduce un modelo cliente-servidor, siendo el demonio de Docker en el host el responsable de la comunicación con los contenedores [8]

Docker ofrece además un repositorio o registro donde almacenar estas imágenes de los contenedores para que estén disponibles para su uso [9] de manera pública a través de DockerHub⁴, o de manera privada con un registro desplegado a demanda.

Docker usa una terminología propia:

- **Imagen:** Descripción de los contenidos de un contenedor, interoperable entre todo el ecosistema Docker.
- **Contenedor:** Es la unidad mínima en Docker, corresponde a una imagen ejecutada sobre una máquina o Swarm.
- **Volumen:** Unidad de almacenamiento persistente en Docker, pueden ser bindados a un directorio o fichero del sistema de ficheros del host o en el propio contexto de Docker.
- **Servicio:** Encapsulación de una imagen que se puede configurar de manera concreta. Permitiendo configurar la cantidad de replicas a desplegar, el tipo de red o los volúmenes con los que trabajar.
- **Red:** Red dentro del ecosistema Docker, se encarga de interconectar Servicios y/o Contenedores

Raft Consensus

Es un algoritmo para asegurar tolerancia a fallos. Para su correcto funcionamiento, se tiene que establecer un *Quorum*, un conjunto de nodos elegidos para administración. El tamaño del *Quorum* se define por la siguiente ecuación $2f + 1$, siendo f la cantidad de fallos a tolerar. Por lo tanto, para formar *Quorum*, serán necesarios un mínimo de 3 nodos [6] .

⁴<https://hub.docker.com>

Docker Swarm

Docker Swarm es un modo de funcionamiento de Docker que permite utilizar diversas máquinas para formar un clúster de Docker en el que desplegar contenedores, donde el demonio de Docker gestiona la red, el sistema de ficheros y la comunicación entre servicios.

Para desplegar diversos Servicios en un Swarm, Docker introduce el concepto de **Stack**, una agrupación de Servicios con su configuración de red particular.

Los nodos de Docker Swarm pueden tener dos roles:

- **Manager:** Gestionan el clúster, como mínimo, debe haber 3 Managers para que se puede aplicar Raft-Consensus. Tienen una visión completa del cluster. A su vez, uno de ellos se elegirá como **Líder**, el cual será responsable de la gestión del clúster.
- **Worker:** Son nodos en los cuales sólo se despliegan contenedores o servicios, sólo tienen visión de los contenedores o servicios que están desplegados en el propio nodo.

4.7. Apache JMeter

Apache JMeter es un software de código abierto desarrollado en Java con el objetivo de realizar test de rendimiento automáticos. Tiene una baja curva de aprendizaje y permite ejecutar las pruebas de manera distribuida y una API pública lo que permite extender el funcionamiento de la herramienta a demanda.

Está dotado de interfaz de usuario gráfica desde la cual se pueden diseñar y ejecutar tests, pero también ofrece una versión de ejecución por línea de comandos que permite automatizar completamente el lanzamiento de las pruebas.

Ejecución distribuida

JMeter se desarrolló pensando en un esquema de ejecución distribuida **Maestro / Esclavos**. Los esclavos deben estar accesibles antes de la ejecución del test a través del nodo maestro.

El lanzamiento del nodo Maestro requiere que se especifique la lista de los nodos remotos que utilizar para lanzar el test de rendimiento.

4.8. Elasticsearch

ElasticSearch forma parte del Stack ELK (*ElasticSearch*, *Logstash*, *Kibana*) y es una base de datos y motor de búsqueda distribuido y enfocado a la alta disponibilidad. Está desarrollado en Java bajo una licencia open source y basado en Lucene [3], una librería open source de búsqueda de texto completo.

4.9. Sistema de ficheros distribuido

Un sistema de ficheros distribuido permite acceder a unos directorios o ficheros determinados desde diversos ordenadores. Cada Sistema Operativo implementa su propio protocolo de ficheros distribuidos. El sistema Operativo Windows utiliza Samba.

4.9.1. Samba

Samba es el protocolo open source por defecto de Windows que comparte directorios e impresoras como estándar. Su carácter open source permite que sea posible acceder a recursos compartidos Windows desde otros Sistemas Operativos[7].

4.9.2. GlusterFS

GlusterFS⁵ es un sistema de ficheros distribuido open source a través de la red que puede replicar los contenidos entre los nodos que lo tengan configurado. Las características principales de Gluster son las comunes a cualquier sistema distribuido, tolerancia a fallos y alta escalabilidad [1].

⁵<http://gluster.org>

4.10. AWS: Amazon Web Services

Amazon Web Services es una solución Platform-as-a-Service (PAAS) que ofrece diversos productos, entre ellos:

- **EC2:** Recursos de cómputo bajo demanda. Permitiendo desplegar máquinas virtuales en pocos minutos con la imagen de sistema deseada, ya sea Windows o Linux.
- **ElasticIP:** IP pública bajo demanda

Se caracteriza por ofrecer un modelo de pago por uso y por la capacidad de interconexión entre sus servicios.

4.11. Sistemas de Integración Continua

Un Sistema de Integración Continua, permite ejecutar con cada commit. sobre el Control de Versiones, ejecutar una serie de programas definidos en un pipeline, como puede ser la ejecución de tests unitarios para asegurarse de la regresión de la aplicación, es decir, que no se ha roto ninguna funcionalidad previo con los nuevos cambios introducidos.

4.11.1. TravisCI

TravisCI⁶ es un servicio de Integración Continua ofrecido de manera gratuita para proyectos open-source de GitHub. Está pre-configurado para usarse de manera sencilla para una gran cantidad de lenguajes de programación así como para despliegues en servicios PAAS como es el caso de Heroku⁷. Usa ficheros YAML para su configuración y todos los comandos y procesos indicados en los ficheros de configuración se ejecutan sobre contenedores completamente aislados. Ofrecen Docker-In-Docker de manera limitada, únicamente para construir imágenes y publicarlas en un registro.

⁶<https://travis-ci.com>

⁷<https://www.heroku.com>

4.11.2. Jenkins

Jenkins es una aplicación open-source desarrollada en Java enfocada a Integración Continua y Despliegue Continuo (CI/CD), al igual que TravisCI. Es completamente configurable y versátil, aunque requiere una instalación y configuración previa. Además, aporta la flexibilidad de poder instalar o desarrollar plugins de terceros.

Permite configurar los pipelines de ejecución mediante una interfaz visual y de manera declarativa o procedural a través de código en el propio repositorio.

Capítulo 5

Descripción informática

5.1. Requisitos

Teniendo en cuenta las carencias observadas durante el despliegue manual y tradicional de Apache JMeter se observaron diferentes puntos a mejorar:

- Configuración manual nodo a nodo
- Obligatoriedad de administración y mantenimiento de la infraestructura
- Seguridad en las comunicaciones de red
- Crecimiento horizontal real

Tras un análisis del proyecto a desarrollar, se llegó a la conclusión de que había que seguir un enfoque top-down, o de arriba hacia abajo. Era necesario que durante toda la etapa del desarrollo, se tuviese muy claro a dónde se pretendía llegar. Siendo los objetivos principales los siguientes:

- **Capacidad de desplegar los servicios Docker necesarios para una tarea específica** de manera transparente y automática
- **Networking automático y transparente** que cifre o aísle las comunicaciones entre todos los contenedores.
- **Interfaz sencilla para el usuario** para crear una capa de abstracción de la administración de sistemas tradicional.

- **Integración completa con Apache JMeter** ya que es la herramienta en la que se basa el proyecto, sin olvidar que el middleware o framework a desarrollar debería permitir ser usado con cualquier otra herramienta.

Así se mostró en el tablero Kanban del proyecto, proporcionado por GitHub para el repositorio concreto¹.

5.2. Arquitectura y Análisis

Golang fue el lenguaje de programación elegido debido a su alta simplicidad en cuanto a concurrencia se refiere, por permitir ser compilado y generar binarios para los mayores Sistemas Operativos y debido a la existencia de un paquete distribuido por Docker para comunicarse directamente con la API que ofrece el demonio de Docker.

La mayor complejidad presente en este proyecto ha sido obtener las direcciones virtuales de cada contenedor desplegado sobre el cluster Swarm, ya que son necesarias para poder comunicarse con las instancias directamente. Docker, por defecto, cuando crea una red entre servicios, puede invocar directamente al nombre del servicio para acceder a él, pero en el caso de que se despliegue el servicio en modo replicado y éste haya sido configurado para tener más de una replica, por defecto, Docker actúa como un balanceador de carga y sólo responde con una única dirección IP correspondiente a un único contenedor. Esto ha sido un duro handicap, ya que se requería conocer todas las direcciones de los contenedores desplegados.

Durante el análisis de cómo afrontar esta problemática, surgieron dos enfoques totalmente diferentes

5.2.1. Primer enfoque: Starter en cada imagen a desplegar

Este enfoque surge tomando como referencia la mayoría de herramientas para service discovery usadas en Docker y en Kubernetes como Consul.io².

Cada contenedor a desplegar, tiene una imagen modificada, la cual, antes de ejecutar el entrypoint predefinido en la imagen, ejecuta una pequeña aplicación, la cual, obtiene la IP vir-

¹<https://github.com/mtenrero/ATQ-Director>

²<https://www.consul.io/>

tual del contenedor y se la comunica al agente controlador, el cual lleva un listado de todas los contenedores descubiertos.

Este enfoque, implicaba modificar todas las posibles imágenes a usar con la aplicación, con lo que se reducía drásticamente la facilidad de uso con otras aplicaciones al requerir que en caso de no existir la imagen modificada deseada a desplegar con Automation Test Queue, obligaría al usuario a modificarla por él mismo.

5.2.2. Segundo enfoque: Single Daemon y DNS Round Robin

Con una configuración de red entre servicios Docker configurada para operar con el algoritmo DNS Round Robin, se consigue disponer de la lista de todas las direcciones IP Virtuales de los contenedores de un mismo servicio.

Disponiendo de esta información, dejaría de ser necesario un descubrimiento de servicios como el expuesto en el anterior punto, dotando a la aplicación de la sencillez de uso deseada debido a que el usuario ya no tendría que modificar la imagen a utilizar.

5.2.3. Estructura del proyecto

El proyecto está íntegramente codificado en *Go*. Sigue una estructura típica de este lenguaje, siempre teniendo en cuenta que se mencionan rutas relativas a la ubicación del repositorio ([/github.com/mtenrero/ATQ-Director](https://github.com/mtenrero/ATQ-Director)) bajo el `$GOPATH` definido en el sistema.

```
| app Código autogenerado por Goa
|_ client Implementación de un cliente en Go, autogenerado
|_ configLoader Implementación de la configuración externalizada
|_ dnsdiscovery Implementación discovery DNS
|_ dockerMiddleware Middleware Docker
|_ http
|   |_ design Diseño API REST con el DSL de Goa
|_ persistance Implementación persistencia datos
|_ swagger Especificación OpenAPI autogenerada
|_ tool Helper autogenerado para trabajar con la API
|_ types Mapeado tipos Goa/Middleware
|_ monitoring.go Controlador Monitoring
|_ swarm.go Controlador Swarm
|_ task.go Controlador Task
```

| `databind.go` Controlador Databind

En el esquema anteriormente presentado, se puede apreciar que la implementación ha sido fragmentada en grandes paquetes para cumplir el estándar de *Go* y de los principios *KISS* y *SOLID*.

En la raíz del directorio del proyecto se pueden apreciar unos ficheros con extensión `.go`, contienen los controladores para cada endpoint definido con el DSL de *Goa* en el paquete `http/design`. Se genera la estructura básica en la primera ejecución de `goagen` y a partir de ahí se integra la implementación propia de cada endpoint.

El paquete **persistence** contiene la implementación de un almacén de datos clave/valor muy básico que se utiliza para el almacenamiento de tareas planificadas y las características definidas por el usuario.

Para gestionar la configuración externalizada a través de ficheros YAML, se ha creado el paquete **configLoader**. Es responsable de la carga de parámetros desde el fichero especificado.

Los paquetes **dockerMiddleware** y **dnsdiscovery** contienen la implementación mas significativa para el framework y se detallarán más adelante.

5.2.4. Apache JMeter dockerizado

Existen multitud de imágenes de JMeter disponibles en DockerHub³, todas creadas por la comunidad. Al no existir ninguna imagen oficial, para no dar nada por sentado, se construirá una imagen Docker de Apache JMeter desde el sistema operativo básico para así poder controlar completamente el funcionamiento de la herramienta.

Además se debe ofrecer un modo de configuración a través de variables de entorno para que sea fácilmente ejecutable por línea de comandos para garantizar una integración completa con la automatización.

³<https://hub.docker.com/>

5.3. Diseño e Implementación

Aunque, la planificación de la herramienta se ha realizado con un enfoque bottom-up, el diseño de la misma va a ser expuesto utilizando el enfoque contrario, top-down, es decir, desde lo mas abstracto a lo más específico.

5.3.1. API REST y modelo de datos

El diseño de la interfaz con la que trabajará el usuario que utilice esta aplicación ha sido diseñada meticulosamente utilizando el framework de Go *GoaDesign*, el cual, obliga a definir el diseño de la API con un lenguaje declarativo propio antes de la implementación.

Se valoraron otros frameworks de red para Go, pero ninguno de ellos se enfocaba en primero el diseño y posteriormente la implementación, siendo *Goa* el único que si lo ofrecía. Además, una parte fuerte de este framework es la generación automática de Documentación, ya que genera ficheros OpenAPI compatibles con Swagger⁴.

La definición del modelo de datos con el que trabaja la API REST está fuertemente ligado a la fase de definición de la API con *Goa*, ya que este framework obliga a definir las estructuras de datos en su propio lenguaje DSL, y es el propio framework el que genera las *structs* de *Go* cuando se genera el código.

Tarea

Se definió el concepto **Tarea** como la definición de las pruebas a ejecutar usando el framework Automation Test Queue.

Una tarea tiene una serie de propiedades tales como:

- **Delay** Segundos a esperar entre el despliegue del servicio de workers y el servicio maestro.
- **Name** Nombre de la tarea a desplegar, es su identificador único en el clúster.

⁴<http://swagger.io>

- **WaitCommand** Comando a ejecutar en un contenedor aislado, para asegurar que se han desplegado los contenedores del servicio worker correctamente.
- **Master** Definición del servicio Maestro
- **Worker** Definición del servicio Worker

Definición de Servicio

Los servicios Maestro y Worker tienen los mismos parámetros de definición, y a nivel de estructura no los diferencia ninguna característica.

En el contexto del framework Automation Test Queue, un servicio es la definición de la imagen Docker a desplegar con una serie de características de despliegues ligadas al propio framework.

- **Alias** Identificador del servicio
- **Args** Argumentos que se ejecutarán en cada contenedor del servicio
- **Environment** Lista de variables de entorno que se configurarán en cada contenedor del servicio. Existen una variable reservadas para uso interno del framework, **WORKER_CSV_VIPS**, cuya funcionalidad se detallará en los próximos capítulos.
- **FileID** Identificador de un fichero subido previamente a través del endpoint */databind/upload* que se montará en el servicio para que su contenido esté disponible en los contenedores del servicio.
- **Image** Nombre de la imagen Docker a utilizar.
- **Replicas** Cantidad de contenedores a desplegar para el servicio
- **Tty** Parámetro que fuerza la consola interactiva en el servicio.

Endpoint API

Se ofrecen diferentes acciones descritas a continuación

- **/databind** Operaciones relacionadas con la gestión de archivos

GET /list Devuelve una lista de los ficheros disponibles en el orquestador

POST /upload Subir un fichero .zip con contenidos para que esté disponible para una futura tarea

- **/monitoring** Monitorización del framework

GET /ping Devuelve un HTTP 200OK si el orquestador está operativo

- **/swarm** Estado del cluster Swarm

GET / Devuelve los detalles del Cluster Swarm

- **/task** Operaciones con las tareas a lanzar con el framework

PUT /task Crea una nueva tarea

DELETE /task/{id} Elimina una tarea ya planificada

GET /task/{id} Inspecciona una tarea planificada

Durante el diseño de la API, se tuvo en cuenta todos los tipos de respuesta que puede ofrecer y el contenido de cada mensaje. Se puede consultar en la definición completa de la API en los anexos

5.3.2. Docker Middleware

El Middleware de Docker fue uno de las primeras tareas realizadas durante el desarrollo del framework. Su función es crítica, se encarga de comunicarse con el demonio de Docker a través del SDK proporcionado por Docker para el lenguaje Golang⁵.

Ofrece una interfaz para las tareas más sencillas ofrecidas por la API de Docker como:

- **Gestión Volúmenes**

Bindado

Eliminación

⁵<https://github.com/docker/go-docker>

- **Gestión Redes Overlay**

- Creación

- Agregación

- Eliminación

- **Gestión Servicios**

- Creación

- Eliminación

- **Tareas auxiliares**

- **Mapeo de configuraciones**

Además, ofrece multitud de abstracciones a la estructura definida por el paquete oficial de Docker preconfiguradas para los propósitos del framework.

Este paquete también contiene la implementación de la orquestación propia del framework Automation Test Queue debido a la alta dependencia de estos paquetes.

5.3.3. Fase de orquestación

El proceso de orquestación está implementado en el paquete `dockerMiddleware`. El proceso parte de una definición de una tarea que se recibe vía API HTTP. Se comienza con el despliegue de un servicio global auxiliar, creado específicamente para el proyecto.

Despliegue del descubridor de servicios

Este servicio contiene otra aplicación *Go* muy básica creada específicamente para este proyecto. El servicio expone otra API REST cuyo principal cometido, es devolver una lista con las direcciones IP encontradas para un determinado nombre de dominio. Para el correcto funcionamiento de este servicio es necesario que el servidor DNS al que se dirige la petición responda con una lista completa de todos los registros A disponibles para el dominio consultado, y ésto, en el contexto de Docker, sólo es posible si el servicio identificado por el nombre de dominio proporcionado está desplegado con una configuración de red de DNS Round-Robin.

Se utiliza el paquete *net* proporcionado por defecto por el lenguaje para realizar la resolución de nombres DNS. El único endpoint que expone la API es el siguiente:

- **GET /api/:hostname** Devuelve las IPs encontradas en el DNS para el *hostname* indicado

Las únicas respuestas posibles por esta API son:

- **HTTP 200:OK** Lista con las direcciones encontradas.
- **HTTP 204: No Content** No se han resuelto nombres para el dominio especificado.

La aplicación se ha dockerizado y publicado tanto en GitHub⁶ como en DockerHub⁷ con una construcción automatizada, de tal manera, que con cada actualización sobre el repositorio, se construye automáticamente una nueva imagen y se publica en DockerHub para que esté disponible de forma automática para toda la comunidad.

Desde un punto de vista arquitectónico, el servicio Docker se despliega de modo global, exponiendo el mismo puerto para que sea accesible en todos los nodos controladores del clúster y asegurarse la accesibilidad desde el framework Automation Test Queue.

El carácter de este servicio es efímero, una vez que ha cumplido su cometido, al finalizar la orquestación de la tarea, el servicio es eliminado.

Despliegue de Workers

Una vez que el servicio de descubrimiento de direcciones está correctamente desplegado, se comienza con el despliegue de los contenedores del servicio Worker. El despliegue se realiza con un servicio configurado con una red DNS Round-Robin para que puedan ser descubiertas todas las direcciones de los contenedores, como se ha explicado con anterioridad, y con la cantidad de réplicas definida en la tarea especificada por el usuario.

Para asegurarse de que todos los nodos están disponibles, de manera genérica, mediante una espera activa, por medio de canales de *Go*, se espera hasta que el descubrimiento de servicios

⁶<https://github.com/mtenrero/dnsrr-discovery-api>

⁷<https://hub.docker.com/r/tenrero/dnsrr-discovery-api/>

devuelve una cantidad de direcciones igual a la cantidad de réplicas especificadas en la tarea por el usuario. Una vez que se ha detectado la cantidad correcta de contenedores, si se ha especificado en la tarea, se realizan comprobaciones de salud sobre todos los contenedores.

El comando de comprobación de salud es ejecutado en un nuevo contenedor que comparte la misma red de los servicios desplegados para garantizar una seguridad mínima en el sistema. Por un lado, se aísla el sistema host, ya que se ejecuta en un contenedor aislado, sin capacidad de conectarse al socket de Docker, por otro, al solo disponer acceso a la red interna de la tarea, dispone de un acceso muy limitado al resto de recursos de red, lo que limita el riesgo en los posibles comandos a ejecutar por parte del usuario.

Una vez que se ha verificado la salud de todos los contenedores, se procede a la orquestación del servicio Master.

Las direcciones descubiertas se guardan para posteriormente inyectárselas al servicio Master.

Despliegue de Maestros

El despliegue del servicio maestro es muy similar al despliegue del servicio Worker, pero con unas particularidades. El modo de red es configurado como replicado y VirtualIP, en lugar de DNS Round-Robin, con una única replica a desplegar, de esta manera se permite que el contenedor exponga puertos hacia el exterior en caso de que sea necesario.

Una vez que se ha finalizado la orquestación del servicio Master, se elimina el servicio Discovery desplegado al inicio de la orquestación de la tarea.

5.3.4. Almacenamiento de datos

Se ha utilizado por simplicidad el paquete *buntdb*⁸ para el almacenamiento de datos del framework. Se basa en un esquema clave/valor, siendo compatible con otras soluciones de almacenamiento de datos distribuidos similares, como *etcd*⁹.

⁸<https://github.com/tidwall/buntdb>

⁹<https://coreos.com/etcd/>

Todas las operaciones relacionadas con el almacenamiento de datos se encuentran en el paquete **Persistence**. En el lanzamiento del framework, durante las primeras instrucciones, se realiza una llamada al método *InitPersistence()*, el cual devuelve un struct del tipo **Persistence* que contiene la instancia inicializada de *BuntDB* y ésta es inyectada sobre los controladores que hacen uso de ella, como es el caso del controlador **Task**.

Debido a la naturaleza del lenguaje *Go* y la implementación del paquete *BuntDB*, se ha creado un wrapper para el almacenamiento y la obtención de datos para gestionar las llamadas de una manera más simple y comprensible.

Se encuentra en el fichero *wrapper.go* y ofrece los métodos

- **store(key, value string) error** Almacena una nueva entrada.
- **read(key string) (string, error)** Obtiene el valor de una clave dada.
- **delete(key string) error** Elimina una entrada del almacenamiento de datos.
- **iterateStringString(index string) (*map[string]string, error)** Devuelve una colección de entradas dado un patrón de indexado existente.

Para conseguir un funcionamiento similar a objetos con múltiples propiedades, *BuntDB* ofrece una solución abstracta, la definición de índices mediante wildcards.

Por ello, se ha configurado un índice para permitir obtener múltiples propiedades indicando un identificador de tarea, definiendo el patrón de almacenamiento de datos *task:**:

El uso de un almacenamiento de datos es necesario para almacenar el estado actual de la tarea y los identificadores de los directorios bindados a cada servicio. Como restricción se ha implementado un control de duplicidades, para asegurarse de que no se desplieguen dos tareas con el mismo identificador.

5.3.5. Imágenes Docker

5.3.6. Service Discovery

5.4. Integración Continua

Inicialmente, el proyecto, al estar alojado en el servicio de control de versiones de GitHub, en un repositorio de código abierto, se ofrecían diversas opciones SAAS de Integración Continua, entre ellas TravisCI o CircleCI.

Al comenzar el desarrollo, las características que ofrecía TravisCI encajaban perfectamente con los requisitos de Automation Test Queue:

- Pipeline-as-code
- Enfocado a Contenedores
- Integración con GitHub

Se utilizó durante la mitad de desarrollo del proyecto y ofreció muy buenos resultados. Pero llegó un momento en el que era necesario que el host donde se ejecutaban los tests cada vez que realizaba un commit formase parte de un cluster de Docker Swarm, y esto no se podía conseguir con la solución que ofrecía TravisCI.

La limitación de TravisCI era muy importante ya que rompía la línea de Integración Continua, por lo que no quedó mas remedio que optar por una solución mas configurable, Jenkins.

No se optó desde un principio por Jenkins debido a la necesidad de disponer de una máquina con acceso a la red las 24 horas al día y la configuración del mismo.

El despliegue de las máquinas destinadas a la línea de integración continua se realizó sobre máquinas EC2 de Amazon Web Services, todas ellas bajo el mismo grupo de disponibilidad y con un servicio de IP elástica, permitiendo de esta manera que la dirección de acceso a Jenkins fuese estática. Además se incluyó un registro A en el DNS de mi dominio particular para poder acceder con una dirección¹⁰ mas fácil de recordar aún.

¹⁰<http://atq.mtenrero.com:8080>

Una parte vital para el correcto funcionamiento de la línea de integración continua fue configurar webhooks en GitHub para apuntar a la instancia de Jenkins además de habilitar la integración propia de Jenkins. Esto permitió que con cada evento en el repositorio, como *commits* o *pull-requests* se enviase una notificación a Jenkins para así poder ejecutar el job especificado y lanzar los tests unitarios sobre todas las ramas del proyecto para asegurar la regresión y un buen funcionamiento del mismo.

Hace apenas dos años, Cloudbees, la organización que es oficialmente responsable del desarrollo de Jenkins, lanzó una característica que llamaron *Jenkins Declarative Pipelines* ¹¹. Estos pipelines, permiten escribir, de una forma descriptiva, las tareas y procesos a realizar cada vez que el job es ejecutado.

Esto ha permitido describir el workflow de ejecución de manera totalmente agnóstica y compatible con cualquier Jenkins desplegado, siempre que tenga Docker instalado, ya que hace uso del denominado Docker-in-Docker, que permite utilizar el demonio de Docker del host dentro de un contenedor ya existente.

5.5. Pruebas

Desde el comienzo del proyecto, la parte de las pruebas sobre la aplicación ha sido muy importante debido a la aplicación de las metodologías ágiles y TDD, además del uso de la librería Goa con la que se ha realizado la interfaz REST del Middleware.

Se ha organizado el proyecto siguiendo el estándar de *Go*, es decir, dentro de cada paquete se han alojado sus tests unitarios. Los tests se diferencian del código en el nombre de fichero, ya que por convenio, los ficheros test en Go deben finalizar con la palabra *_test.go*.

Es común encontrar diferentes ficheros de test en cada paquete ya que se ha seguido un estilo de distribución de ficheros por funcionalidad para así ofrecer un mayor facilidad para comprender el código.

¹¹<https://jenkins.io/blog/2017/02/03/declarative-pipeline-ga/>

Tomando como ejemplo el paquete *persistence* se han realizado un total de seis ficheros de test:

- **`databind_test.go`** Contiene los tests relacionados con las operaciones sobre la entidad *databind*, encargada de las operaciones con los ficheros que proporciona el usuario para sus tests.
- **`filesystem_test.go`** Contiene los tests de almacenamiento de la base de datos clave/valor sobre el sistema de ficheros del sistema.
- **`persistence_test.go`** Comprueba la escritura y la lectura básica utilizando la implementación de almacenamiento.
- **`task_test.go`** Contiene los tests sobre todas las posibles operaciones relacionadas con la entidad Task del Middleware.
- **`timestamp_test.go`** Comprueba el funcionamiento correcto del generador de UUIDs basado en Timestamp.
- **`wrapper_test.go`** Tests relacionados sobre el wrapper que encapsula y simplifica el uso de la librería BuntDB.

La mayoría de los ficheros anteriormente indicados, se corresponden conceptualmente con un fichero con el mismo nombre sin la terminación `_test`. Esos ficheros contienen la implementación de la funcionalidad descrita.

De esta manera, se ofrece a un futuro desarrollador, además de unas pruebas que aseguren una regresión, un ejemplo de cómo usar las implementaciones ofrecidas, ya que se han realizado pruebas para prácticamente la totalidad de la implementación realizada salvo una mínima excepción.

5.5.1. Tecnologías utilizadas

Para realizar un seguimiento sobre la cobertura de tests se ha utilizado la plataforma Coveralls.io¹². Permite visualizar gráficamente la evolución de la cobertura entre los diferentes

¹²<https://coveralls.io/github/mtenrero/ATQ-Director>

commits realizados al control de versiones.

Para el correcto uso de esta plataforma ha sido necesario apoyarse en la librería *Goveralls*¹³. Esta librería envía los resultados de las pruebas a la plataforma Coveralls.io. Durante el cambio a Jenkins como sistema de Integración Continua, Goveralls no ofrecía soporte completo para este sistema de CI y fue necesario introducir algunos cambios en el repositorio¹⁴ mediante un Pull Request¹⁵ para mejorar la compatibilidad con Jenkins.

Se ha utilizado el paquete de testing nativo de *Go* y el paquete *Testify*¹⁶ que proporciona una serie de funciones y utilidades para simplificar el proceso de testeo, como comparaciones, expected conditions, etc...

5.5.2. Cobertura de tests

En un primer lugar se realizaron tests básicos sobre los casos de uso necesarios y posteriormente, estos tests se fueron ampliando para disponer de una regresión completa en la mayoría de paquetes.

Docker Middleware

El paquete dockerMiddleware dispone de una cobertura de test del 42,02 %, y esto es debido a que las pruebas a realizar sobre este paquete en realidad pertenecen mas a pruebas de integración ya que requieren comunicarse con el demonio de Docker del sistema y requieren una serie de pre comprobaciones. No obstante, se han implementado la mayor parte de pruebas posibles, sobre todo para las operaciones más básicas como crear y eliminar redes, contenedores y volúmenes.

¹³<https://github.com/mattngoveralls>

¹⁴<https://github.com/mtenrero/goveralls>

¹⁵<https://github.com/mattngoveralls/pull/116>

¹⁶github.com/stretchr/testify/assert

Cargador de configuraciones

El paquete configLoader dispone de una cobertura de tests del 100 %, ya que es el encargado de la lectura y propagación de configuraciones desde un fichero YAML.

Persistence

El paquete de gestión de la persistencia de datos dispone de una cobertura de test del 87,56 %, cubriendo casi la totalidad de la funcionalidad. Quedando fuera de la regresión ciertos casos muy difíciles de conseguir al estar relacionados propiamente con la librería, pero como se tienen en cuenta en los test el valor esperado por la llamada a dichas funciones, se puede afirmar casi con total seguridad que se podría detectar prácticamente cualquier fallo.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajos futuros

Me gustaría hablar de la integración completa con OS Windows, otros tipos de despliegue como en AWS de manera nativa, otros modelos diferentes a la arquitectura Master/Workers...

Quizás de una interfaz web completa con Angular o similar...

Bibliografía

- [1] A. Beloglazov, S. F. Piraghaj, M. Alrokayan, and R. Buyya. Deploying openstack on centos using the kvm hypervisor and glusterfs distributed file system. *University of Melbourne*, 2012.
- [2] D. Bernstein. Containers and cloud: From lxc to docker to kubernetes. *IEEE Cloud Computing*, 1(3):81–84, Sept 2014.
- [3] M. S. Divya and S. K. Goyal. Elasticsearch: An advanced and quick search technique to handle voluminous data. *Compusoft*, 2(6):171, 2013.
- [4] A. A. Donovan and B. W. Kernighan. *The Go programming language*. Addison-Wesley Professional, 2015.
- [5] R. Dua, A. R. Raja, and D. Kakadia. Virtualization vs containerization to support paas. In *2014 IEEE International Conference on Cloud Engineering*, pages 610–614, March 2014.
- [6] H. Howard. ARC: Analysis of Raft Consensus. Technical Report UCAM-CL-TR-857, University of Cambridge, Computer Laboratory, July 2014.
- [7] Z. Huili. Realization of files sharing between linux and windows based on samba. In *2008 International Seminar on Future BioMedical Information Engineering*, pages 418–420, Dec 2008.
- [8] Á. Kovács. Comparison of different linux containers. In *2017 40th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, pages 47–51, July 2017.
- [9] D. Merkel. Docker: Lightweight linux containers for consistent development and deployment. *Linux J.*, 2014(239), Mar. 2014.

- [10] R. Pike. The go programming language. *Talk given at Google's Tech Talks*, 2009.
- [11] R. Pike. Go at google. In *Proceedings of the 3rd Annual Conference on Systems, Programming, and Applications: Software for Humanity*, SPLASH '12, pages 5–6, New York, NY, USA, 2012. ACM.

Apéndice A

Manual de usuario

Apéndiceb

Apéndice B

Fragmentos de código

Listing B.1: Jenkinsfile CI Docker-in-Docker

```
pipeline {  
  
    agent {  
        docker {  
            image 'tenrero/golang-dep-alpine:1.10.2'  
            reuseNode true  
            args '-it -v /var/run/docker.sock:/var/run/docker.sock  
                -v $WORKSPACE:/tmp/app'  
        }  
    }  
  
    stages {  
        stage('Prepare Environment') {  
            steps {  
                sh 'echo $GOPATH'  
                sh 'mkdir -p /go/src/github.com/mtenrero/'  
                sh 'ln -s /tmp/app  
                    /go/src/github.com/mtenrero/ATQ-Director'  
                sh 'ls -a /go/src/github.com/mtenrero/ATQ-Director'  
                sh 'go get -u github.com/golang/dep/cmd/dep'  
                sh 'go get -u github.com/golang/lint/golint'
```

```
    sh 'go get -u github.com/tebeka/go2xunit'
    sh 'go get -u golang.org/x/tools/cmd/cover'
    sh 'go get -u github.com/mattn/goveralls'
  }
}

stage('Download Vendor') {
  steps {
    sh 'cd /go/src/github.com/mtenrero/ATQ-Director &&
      dep ensure'
  }
}

stage('Test') {
  steps {
    sh 'cd /go/src/github.com/mtenrero/ATQ-Director &&
      go test ./... -race -coverprofile=coverage.txt
      -covermode=atomic'
  }
}

stage('Build') {
  steps {
    sh 'cd /go/src/github.com/mtenrero/ATQ-Director &&
      ./build.sh'
  }
}
}
```